



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2013/2014

PREVENÇÃO E DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: ANÁLISE HOLÍSTICA E SISTEMAS TECNOLÓGICOS

MARIA INÊS MONTEIRO RIBEIRO

Dissertação submetida para obtenção do grau de:

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do júri: Cidália Maria de Sousa Botelho

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto)

Orientador académico: Professor Doutor Sérgio Manuel Oliveira Tavares

(Investigador no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade
do Porto)

Supervisor na empresa Flickssystems: Eng.^a Marina Gabriela Caldas Machado

(Responsável pelo desenvolvimento do negócio)

Porto, Julho de 2014

RESUMO

A floresta desempenha um papel inegavelmente importante na vida dos organismos pois é uma fonte fundamental do oxigénio que todos respiramos, ao qual se acrescenta a sua importância socioeconómica. Para além de possibilitar a extração das matérias-primas necessárias a setores que representam fatias consideráveis na nossa economia, são também um espaço de lazer. O fogo é essencial para o equilíbrio dos ecossistemas florestais, mas devido a alterações ocorridas nos regimes de fogo os incêndios florestais tornaram-se, nas últimas décadas, um problema em diversas regiões do globo. Como o sector florestal é economicamente apetecível, diversos estudos têm sido feitos no sentido de desenvolver sistemas de vigilância florestal e deteção precoce de incêndios florestais, com alertas quase imediatos que permitam intervenções com a maior brevidade possível neste contexto. Assim, afigurou-se importante apurar o que tem sido feito em Portugal e noutros países, no que diz respeito à prevenção e deteção de incêndios florestais. A prevenção apresenta-se como um trabalho a longo prazo pela dificuldade que existe em alterar mentalidades. O interesse nos referidos sistemas é elevado se usados como complemento dos tradicionais sistemas de vigilância florestal, considerados pelas autoridades competentes os mais eficazes e dificilmente substituíveis. Nesta investigação foram analisadas políticas e sistemas de prevenção em diversos países (Canadá, E.U.A, Grécia, Finlândia e Chile), alguns com condições semelhantes às encontradas no território português. De forma a explorar tecnologias que auxiliem a deteção e monitorização de incêndios florestais, foi investigado um sistema baseado em espectroscopia de infravermelho, através da deteção de variações significativas na concentração de componentes químicos. Analisou-se a resposta de um sensor de infravermelhos, capaz de fazer um varrimento numa gama alargada de comprimentos de onda do espectro de infravermelho. Assim, apurou-se qual o comprimento de onda com mais interesse para a deteção de incêndios florestais, o que permite aumentar a sensibilidade deste tipo de sistemas e reduzir o tempo de deteção do foco de incêndio. Verificou-se a sensibilidade do sensor aos falsos alarmes estudados (humidade/vapor de água e vento), concluindo-se que é possível reduzir de forma substancial este tipo de alarmes. Este estudo permitiu verificar a existência de uma tendência internacional em adotar sistemas autónomos para deteção de incêndios florestais, no sentido de complementar outros métodos já existentes. A utilização de tecnologia baseada no espectro infravermelho é bastante comprometedora e com provas dadas em satélites climatéricos, podendo ser uma boa aposta na melhoria dos sistemas de deteção de incêndios.

ABSTRACT

The forest performs an unquestionably important role in the organism's life because it is a fundamental source of oxygen we all breathe, which adds to its socio-economic importance. In addition, it enables the extraction of raw materials needed to many sectors which contributes for considerable part of the gross domestic production, and at the same time, it is also a place of leisureliness. Fire is essential to forest's ecosystems balance, but in last decades, due to changes in fire regimes forest fires have become a problem in many regions worldwide. As the forestry sector is economically desirable, many studies and developments have been done to develop forest monitoring and early detection of forest fires systems, with almost immediate alerts different authorities enabling interventions as soon as possible. Thus, it seemed important find out what has been doing in Portugal and in other countries, with regard to the prevention and detection of forest fires. Prevention presents itself as a long-term work by the difficulty to change mentalities. The interest in autonomous detection systems is high if used to complement traditional systems of forest monitoring as the competent authorities considered that is the most effective so it's hard to replace. In this research, policies, prevention and detection systems were analyzed in several countries (Canada, USA, Greek, Finland, Chile), some with conditions similar to those found in the Portuguese territory. In order to explore technologies that support detection and monitoring of forest fires, it was investigated a system based on infrared spectroscopy technology by detecting significant changes in the concentration of chemical components. It was analyzed the response of an infrared sensor, able to make a scan over a wide wavelength range of the infrared spectrum. In this way, it was possible to find out which wavelength is more interesting to forest fire detection that allows to increase the sensitivity of the system and reduce the detection time. As well, it was studied the sensor sensitivity to false alarms (moisture/water vapor and wind), concluding that it is possible to substantially reduce this type of alarms. This study showed the existence of an international trend in the adoption of autonomous systems for detection of forest fires, to complement other traditional methods. The application of technology based on the measurement of infrared spectrum is very compromising and proven in different weather satellites and it might be a good asset on improving fire detection systems.

*“So tonight you better stop and rebuild all your ruins,
Because peace and trust can win the day despite of all your losing.”*

Led Zeppelin, Immigrant Song

AGRADECIMENTOS

Embora a dissertação corresponda a um semestre de trabalho académico individual, não posso esquecer que se trata do culminar de cinco anos, pelo que são várias as pessoas a quem devo uma palavra de gratidão.

Por serem, sem dúvida, as pessoas mais importantes na execução da dissertação, começo por agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Sérgio Tavares e Eng.^a Marina Machado, por toda a disponibilidade, ensinamentos, orientação, apoio, ideias, motivação, correções e sugestões.

À Matilde e à Catarina, por anos de amizade incondicional. À Sofia, por ser a pessoa mais incrível. Ao Diogo, por nunca desistir de mim. À Joana, pela incansável presença. A 09, pelas melhores memórias. À equipa de basquetebol feminino da AEFEUP, pelas gargalhadas e momentos de descontração que me proporcionaram. A todos os meus amigos, pelos momentos partilhados. Um “obrigada” nunca será suficiente.

Ao longo destes meses de trabalho, foram várias as pessoas com quem tive oportunidade de reunir e aprender, que disponibilizaram parte do seu tempo para conversar comigo e me transmitirem um pouco do muito que sabem, ao mesmo tempo que, talvez sem saberem, motivavam o meu trabalho. Assim, deixo aqui uma palavra de agradecimento ao Professor Doutor Carvalho Guerra, membro da direção da Forestis; ao Tenente Silva Ferreira, responsável pelo SEPNA da GNR do Porto; ao Engenheiro Silvino Sousa, em representação do ICNF; à Doutora Eunice Silva e ao 1º Comandante Operacional Distrital Tenente-Coronel Carlos Alves, do CDOS do Porto; ao 1º e 2º Comandantes Operacionais do CDOS de Viana do Castelo, respetivamente Armando Silva e Daniel Robalo Simões; ao Comandante Emanuel Santos, 2º Comandante dos Bombeiros de Ermesinde; à Portucalea – Associação Florestal do Grande Porto, na pessoa de Sónia Rodrigues; ao Engenheiro Artur Borges, responsável pelo Gabinete Técnico Florestal da Câmara Municipal de Felgueiras; e à Professora Doutora Fantina Tedim, da FLUP.

À FEUP, o meu mais sincero agradecimento, por ter sido, sem dúvida, uma segunda casa.

Por ser mais importantes que tudo o resto, não podia deixar de dedicar este importante passo na minha vida académica à minha família. Em especial aos meus Pais, por todas as suas escolhas terem sido feitas a pensar em nós e se refletirem naquilo em que nos tornamos; ao meu irmão, que mesmo longe faz tudo por mim, e ao Kobe, por ser muito mais que um cão para todos lá em casa e concretizar o *cliché* de que o cão é o melhor amigo do Homem. São os melhores do mundo, até nos dias maus me fazem sorrir.

Obrigada!

ÍNDICE

Resumo	iii
Abstract	iv
Agradecimentos	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvi
Nomenclatura	xvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura e organização da dissertação	3
2. A floresta	5
2.1. Enquadramento histórico: a evolução da floresta portuguesa	6
2.2. A importância de uma gestão sustentável da floresta	9
2.2.1. Norma 4406:2009	9
2.2.2. O caso da Galiza	10
2.3. Caracterização da floresta portuguesa	11
2.4. A floresta portuguesa e a economia nacional	13
2.5. Problemas associados a florestas	14
2.5.1. Desflorestação e declínio florestal	14
2.5.2. Pragas e doenças	14
2.5.3. Alteração nos regimes de fogo	15
2.5.4. O caso da interface urbano-florestal	16
2.6. Quadro legal e institucional	17
3. A problemática dos incêndios	19
3.1. Dados estatísticos	21

3.2. Causas dos incêndios florestais nacionais	23
3.3. Aspetos socioeconómicos dos incêndios florestais nacionais	25
3.4. Impacte dos incêndios florestais nacionais	27
3.4.1. No ar	29
3.4.2. Na biodiversidade	30
3.4.3. No solo	31
3.4.4. Na água	31
3.5. Medidas de prevenção contra incêndios, vigilância e deteção	32
3.5.1. Portugal	33
3.5.2. Outros países	35
3.5.2.1. Canadá	35
3.5.2.2. Estados Unidos da América	36
3.5.2.3. Chile	37
3.5.2.4. Grécia	38
3.5.2.5. Finlândia	39
3.6. Estado de arte de sistemas de monitorização	40
3.6.1. Portugal	41
3.6.1.1. Projeto Águia - sistemas automáticos de deteção e monitorização de incêndios florestais	41
3.6.1.2. CICLOPE – Sistema Integrado de Videovigilância Florestal	41
3.6.1.3. Forest Fire Finder – FFF ou F3	43
3.6.1.4. FireTrack	46
3.6.2. Outros estudos e sistemas existentes	46
3.6.2.1. Deteção de incêndios florestais com recurso a RASS	46
3.6.2.2. Deteção de incêndios florestais com recurso a processamento de imagens IV	48
3.6.2.3. Deteção de incêndios florestais com recurso a aeronaves não tripuladas	49
3.6.2.4. FIRE-WATCH	49

3.6.2.5. ADELIE	51
4. A realidade das florestas portuguesas	53
4.1. O Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios	53
4.2. As Zonas de intervenção florestal	62
4.3. Os baldios	65
4.4. A floresta como energia renovável	66
4.5. A gestão florestal e o ordenamento do território	67
4.5.1. O Gabinete Técnico Florestal	68
4.5.2. Antes do fogo	69
4.5.3. Depois do fogo	71
5. Caso de estudo prático: deteção de incêndios através de espectroscopia de infravermelho	73
5.1. Revisão de literatura	73
5.1.1. Deteção remota e radiação eletromagnética	73
5.1.1.1. TES – Tropospheric Emission Spectrometer	74
5.1.1.2. Rede de Satélites NOAA	75
5.1.2. Princípios de espectroscopia de infravermelho	77
5.1.3. Regiões espectrais úteis para deteção de incêndios florestais	78
5.1.4. Fundamentos da fotossíntese	80
5.2 Material e métodos	81
5.2.1. O sensor e o software	81
5.2.2. Metodologia adotada	81
5.2.2.1. Avaliação do comprimento de onda a utilizar	82
5.2.2.2. Ciclos de 24 horas	82
5.2.2.3. Influência da altura do sensor em relação à árvore	82
5.2.2.4. Influência da humidade	83
5.2.2.5. Influência do vento	84

5.2.2.6. Distância do sensor à chama	84
5.2.2.7. Simulação de incêndio florestal	85
5.3. Resultados e discussão de resultados	85
5.3.1. Avaliação do comprimento de onda a utilizar	85
5.3.2. Ciclos de 24 horas	89
5.3.3. Influência da altura do sensor em relação à árvore	91
5.3.4. Influência da humidade	91
5.3.5. Influência do vento	93
5.3.6. Distância do sensor à chama	93
5.3.7. Simulação de incêndio florestal	94
5.3.7.1. Variação da intensidade da chama	94
5.3.7.2. Biomassa seca	96
5.3.7.3. Biomassa fresca	98
5.4. Principais conclusões	100
6. Conclusões e desenvolvimentos futuros	101
6.1. Conclusões	101
6.2. Desenvolvimentos futuros	102
Referências Bibliográficas	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupos de espécies.	12
Figura 3.1 – Triângulo do fogo.	19
Figura 3.2 – Número de ocorrências e área total ardida em Portugal entre 1980 e Outubro de 2013.	21
Figura 3.3 – Área ardida (ha) em Portugal entre 1980 e Outubro de 2013.	22
Figura 3.4 - Regiões definidas pelo WFEC.	36
Figura 3.5 – Exemplo de torre de controlo.	42
Figura 3.6 – Forest Fire Finder.	43
Figura 3.7 – Espectrometria com deteção remota.	43
Figura 3.8 – Instalação do sistema no Parque Nacional Peneda-Gerês.	45
Figura 3.9 – Infraestrutura proposta para o sistema.	47
Figura 3.10 – Componentes do sistema FIRE-WATCH.	50
Figura 4.1 – Logotipo ICNF.	54
Figura 4.2 – Logotipo GNR.	54
Figura 4.3 – Logotipo ANPC.	55
Figura 4.4 – Logotipo Portucalea.	64
Figura 4.5 – Distribuição das áreas de baldio em Portugal continental.	65
Figura 4.6 – Central de aproveitamento de resíduos florestais de Mortágua.	67
Figura 4.7 – Esquema síntese das FGC.	70
Figura 4.8 – Esquema simplificado dos elementos constituintes de um MPGC.	71
Figura 5.1 – Espectro eletromagnético.	73
Figura 5.2 – Sensor passivo (A) e sensor ativo (B).	74
Figura 5.3 – Imagem fornecida pelos satélites NOAA, obtida por infravermelho.	77
Figura 5.4 – Transmissões atmosféricas.	79
Figura 5.5 – Espectro de absorção de infravermelho de dióxido de carbono.	79

Figura 5.6 – Representação esquemática da medição efetuada para estudar a influência da altura do sensor em relação à árvore.	83
Figura 5.7 – Representação esquemática para avaliação da influência da humidade.	83
Figura 5.8 – Representação esquemática do ensaio realizado para testar a influência do vento.	84
Figura 5.9 – Representação esquemática do ensaio realizado a diferentes distâncias da chama	84
Figura 5.10 – Scan às 00h.	85
Figura 5.11 – Scan às 02h.	85
Figura 5.12 – Scan às 04h.	86
Figura 5.13 – Scan às 06h.	86
Figura 5.14 – Scan às 8h.	86
Figura 5.15 – Scan às 10h.	86
Figura 5.16 – Scan às 12h.	87
Figura 5.17 – Scan às 14h.	87
Figura 5.18 – Scan às 16h.	87
Figura 5.19 – Scan às 18h.	87
Figura 5.20 – Scan às 20h.	88
Figura 5.21 – Scan às 22h.	88
Figura 5.22 – Representação gráfica 3D das medições efetuadas.	88
Figura 5.23 – Fotossíntese	89
Figura 5.24 – Variação teórica de CO ₂ e O ₂ .	89
Figura 5.25 – Ciclos de 24 horas, medições a 4200nm.	90
Figura 5.26 – Ciclos de 24 horas, medições a 4300nm.	90
Figura 5.27 – Variação do sinal no estudo da influência da altura do sensor em relação à árvore.	91
Figura 5.28 – Fotografia do ensaio que permite avaliar a influência da humidade.	91
Figura 5.29 – Variação do sinal registado para avaliar a influência da humidade, a 4200nm.	92
Figura 5.30 – Variação do sinal registado para avaliar a influência da humidade, a 4300nm.	92

Figura 5.31 – Variação do sinal registado para avaliar a influência do vento.	93
Figura 5.32 – Distância do sensor à chama: 40, 30, 20, 25, 20 e 15cm.	94
Figura 5.33 – Distância do sensor à chama: 40, 30, 20, 25, 20, 15 e 10cm.	94
Figura 5.34 – Fotografias do ensaio para variação da intensidade da chama.	95
Figura 5.35 – Variação do sinal registado para variações da intensidade da chama, a 4200 nm.	95
Figura 5.36 – Variação do sinal registado para variações da intensidade da chama, a 4300 nm.	95
Figura 5.37 – Ensaio com biomassa seca.	96
Figura 5.38 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa seca, a 4200 nm.	97
Figura 5.39 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa seca, a 4300 nm.	97
Figura 5.40 – Ensaio com biomassa fresca.	98
Figura 5.41 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa fresca, a 4200 nm.	99
Figura 5.42 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa fresca, a 4300 nm.	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Fases de perigo.	55
Tabela 4.2 – Número e área das ZIF, por região.	63
Tabela 4.3 – Comparação da área ardida em ZIF com a área ardida em Portugal continental.	63
Tabela 4.4 – Áreas de baldio em Portugal continental.	65
Tabela 4.5 – Modelos de gestão dos baldios.	66
Tabela 5.1 – Zonas de infravermelho, de acordo com a ISO 20473.	78

NOMENCLATURA

Unidades

°C	Grau Celsius
cm	Centímetro
Gwh	Giga Watt
há	Hectare
K	Grau Kelvin
kg	Nanómetro
km	Quilómetro
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mV	Mega Volt
Mw	Mega Watt
Mwth	Mega Watt térmico
ppm	Parte Por Milhão
V	Volt
µm	Micrómetro

Símbolos e Abreviaturas

ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
CDOS	Centro Distrital de Operações de Socorro
CNGF	Corpo Nacional da Guarda-Florestal
DFCI	Defesa da Floresta Contra Incêndios
DGRF	Direcção-Geral dos Recursos Florestais
EG	Entidade Gestora
EMEIF	Equipa de Manutenção de Informação Florestal
ENF	Estratégia Nacional para as Florestas
GAUF	Grupo de Análise e Uso do Fogo
GIPS	Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro
GNR	Guarda Nacional Republicana
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IEFP	Instituto do Emprego e Formação Profissional
IVcR	Índice de Vantagens comparativas Reveladas
LIDAR	Light Detection And Ranging
ONG	Organização Não Governamental
PIB	Produto Interno Bruto
PLE	Produtividade Líquida do Ecossistema
PMDFCI	Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PNDFCI	Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PROF	Plano Regional de Ordenamento Florestal
RNPV	Rede Nacional de Postos de Vigia

SEPNA	Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente
SGIF	Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
UFG	Unidade de Gestão Florestal
VAB	Valor Acrescentado Bruto
ZIF	Zona de Intervenção Florestal
λ	Comprimento de onda

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A floresta portuguesa é o resultado de um longo processo evolutivo, marcado por condicionantes ambientais, pelas características físico-químicas do solo, pela disponibilidade hídrica e pela intervenção antrópica, respondendo a necessidades de matérias-primas e de espaços para pastagens e agricultura [1]. Para além da componente ambiental associada ao sector florestal, os fatores socioeconómicos assumem também uma importância significativa [2, 3].

Na atualidade, o fogo constitui o maior problema da floresta nacional e os seus impactes são imensos, não só pelo grande número de ocorrências mas também pelas extensas áreas que ardem todos os anos [1].

Enquanto fenómeno natural, o fogo faz parte dos ecossistemas, influenciando o desenvolvimento das espécies, intervindo na renovação de paisagens e modelação das florestas. Até à década de 1970, os incêndios não eram considerados um problema na floresta portuguesa. No entanto, devido a diversas mudanças na estrutura socioeconómica do país e consequentemente no estilo de vida da população, verificou-se a acumulação de combustível nas florestas, pronto a alimentar incêndios catastróficos [4].

Um grande número de fogos tem lugar nos distritos com maior densidade populacional, tipicamente no litoral, correspondendo-lhes geralmente reduzidas áreas ardidas [5]. Por um lado, o aumento do número de ocorrências está relacionado com o crescimento da população e com o mau ordenamento territorial, pois ocuparam-se espaços florestais para construção de habitações, criando um problema na interface urbano-florestal. Por outro lado, o aumento da área ardida está associado ao êxodo rural e consequente aumento de combustível nas florestas. A quantidade de grandes incêndios é reduzida mas é após esses que se fazem sentir os maiores impactes [1].

O facto de existir uma estação chuvosa permite o crescimento de uma elevada quantidade de biomassa vegetal, seguindo-se um período quente e seco, ou seja, condições favoráveis a que a biomassa arda [1, 6]. As condições naturais do nosso país e restante bacia mediterrânica, semelhantes a outras regiões do mundo, como por exemplo a Califórnia, Austrália, Chile e algumas regiões da África do Sul, são, então, bastante favoráveis à eclosão de incêndios florestais [5]. As ignições associadas a causas naturais são raras, representando uma percentagem inferior a 1%, sendo que os restantes 99% correspondem a causas antrópicas, quer por negligência quer por crime [7].

Os incêndios são um fenómeno com fortes impactes a nível ambiental, económico e social. Afetam todos os componentes dos ecossistemas naturais, reduzem a área florestal, põe em perigo vidas humanas e equipamentos, causam prejuízos económicos elevados, não só pela destruição da floresta mas também pelos montantes investidos na prevenção e gastos no combate [1, 7].

O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades [8]. O fogo não pode e não deve ser completamente eliminado [9], mas é crucial para o desenvolvimento sustentável do país a diminuição das ocorrências e o controlo da área ardida, assim como a redução dos danos económicos e ambientais. No entanto, estes são objetivos a longo prazo que implicam uma nova alteração nos regimes de fogo, pelo que é essencial, no presente, alterar sistemas de prevenção, deteção e combate a incêndios florestais.

São várias as regiões no mundo que sofrem todos os anos com o flagelo dos incêndios florestais, pelo que muitas políticas e sistemas têm sido desenvolvidos com o objetivo de prevenir, detetar e monitorizar florestas, aumentando a eficácia no combate e minimizando as consequências.

A deteção remota permite obter informações acerca de grandes áreas sem necessidade de se estar em contacto físico com as mesmas, pelo que tem sido uma área bastante explorada, nomeadamente no setor dos incêndios florestais [6]. O objetivo é que a deteção de um incêndio florestal seja feita o mais rapidamente possível e que informações como a sua localização exata sejam enviadas de imediato para as autoridades responsáveis pela sua deteção e combate. Quanto mais rápido for dado um alerta, mais rápido serão ativados os meios necessários de combate. Neste sentido, diversos grupos de investigação têm investido no desenvolvimento de sistemas que detetem precocemente incêndios florestais [6], baseados em processamento de imagem, usando satélites ou câmaras fixas, em sistemas térmicos, através de sensores, ou usando outro tipo de tecnologia, como LIDAR [10].

No sentido de compreender melhor o sector florestal português, que se afigura pouco organizado, e apurar o interesse e a viabilidade de se aplicar um novo sistema de deteção e monitorização de

incêndios florestais, surgiu a necessidade de reunir com diversas pessoas e entidades, que serão identificadas e citadas ao longo do texto.

Por último, importa referir que uma vez que existem múltiplas definições relacionadas com a floresta e com a problemática dos incêndios, é parte integrante desta dissertação um glossário, que pode ser consultado em anexo.

1.2. OBJETIVOS

O trabalho realizado teve como objetivo global o estudo de diferentes modelos de prevenção e vigilância de incêndios florestais, atendendo aos modelos organizativos, técnicas de prevenção e sistemas de apoio tecnológico de apoio à vigilância utilizados. Assim, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Análise macro da floresta portuguesa;
- Avaliação da problemática dos incêndios: perspetiva social, económica e ambiental;
- Levantamento de medidas de prevenção, sistemas de vigilância florestal e deteção de incêndios;
- Estado de arte de sistemas de monitorização e deteção de incêndios florestais;
- Compreensão da realidade da floresta portuguesa;
- Caso de estudo prático: deteção de incêndios através de espectroscopia de infravermelho.

1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 Capítulos, pelo que com o objetivo de facilitar a compreensão do trabalho realizado, segue-se uma descrição sumária de cada um dos capítulos que a constituem.

O Capítulo 1 funciona como um prefácio da dissertação, uma vez que é feito um enquadramento do tema e descritos os objetivos.

O Capítulo 2 consiste numa análise e caracterização da floresta nacional, sob uma perspetiva histórica, económica e social, referindo-se os seus problemas, a legislação em vigor e a importância de ser feita uma gestão sustentável.

O Capítulo 3 aborda a problemática dos incêndios florestais. Nele são apresentados dados estatísticos relativos ao problema, assim como os motivos que o justificam, apontando-se as respetivas causas e

consequências. É feito o levantamento de medidas de prevenção, vigilância e deteção de incêndios florestais em Portugal e noutros locais onde este problema é, também, uma realidade. Por ser foco principal do trabalho elaborado, incluiu-se ainda, neste capítulo, o estado de arte dos sistemas de monitorização e deteção de incêndios florestais, apurando-se os sistemas existentes em Portugal e analisando-se outros estudos já efetuados na área pela comunidade científica.

O Capítulo 4 é dedicado à realidade das florestas nacionais. Todas as reuniões realizadas contribuíram em larga escala para este capítulo, permitindo relatar como funciona a floresta portuguesa a nível estrutural e como é encarada a tão grave problemática dos incêndios florestais que todos os anos assolam o território continental nacional.

O Capítulo 5 tem em vista o estudo da possibilidade de ser usada a tecnologia de espectroscopia de infravermelho para deteção de incêndios florestais. Apresentam-se os conceitos teóricos relevantes, é feita a descrição da metodologia adotada e são analisados e discutidos os resultados obtidos.

O Capítulo 6 encerra a dissertação, concluindo-se acerca da viabilidade de instalar o sistema pretendido e, tendo-se em conta todos os dados obtidos, são sugeridos possíveis trabalhos futuros para aprofundamento do tema abordado e algumas alterações que se afiguram importantes efetuar no sector florestal e na forma como se lida com o problema dos incêndios florestais.

2. A FLORESTA

O termo “floresta”, de acordo com os Termos e Definições do 6º Inventário Florestal Nacional (IFN), datado de Outubro de 2013, significa um terreno cuja área é maior ou igual a 0,5 ha, com largura igual ou superior a 20 m, com um grau de coberto maior ou igual a 10% onde se verifica a presença de árvores florestais cuja altura, atual ou futura, é superior a 5 m [11, 12]. A floresta tem diversas funções relevantes para a nossa qualidade de vida, mas a sociedade explora-as para alimentar algumas indústrias, como por exemplo a da madeira e da borracha, constituindo a atividade humana um risco para o desenvolvimento, manutenção, conservação e sustentabilidade das florestas.

As florestas são comumente classificadas de acordo com a sua história, onde é possível distinguir entre florestas primárias ou nativas, surgidas de forma natural, sem intervenções externas relevantes e, portanto, habitat de muitas espécies e plantas, florestas secundárias, regeneradas a partir de um primeiro abate, e florestas artificiais, plantadas pelo Homem. Outra classificação das florestas pode ser feita de acordo com a sua localização geográfica, distinguindo-se entre florestas tropicais, subtropicais, temperadas, boreais, entre outras.

Florestas naturais, em boas condições ecológicas e geridas de forma sustentável, podem oferecer funções de proteção (dos solos, dos recursos hídricos) e conservação (dos habitats naturais e da diversidade biológica), influenciar o clima, reduzir os impactes de emissões gasosas e, por último, oferecer algumas funções sociais e de lazer.

“As florestas são cruciais para a biodiversidade e para o fornecimento de serviços ecossistémicos. Oferecem habitats naturais para a vida vegetal e animal, proteção contra a erosão do solo e as inundações, sequestro de carbono, regulação do clima e possuem um grande valor recreativo e cultural. A floresta constitui a vegetação natural predominante na Europa, mas as florestas que restam na Europa estão longe de não serem perturbadas” [13]

A floresta integra um importante património natural, com relevância ambiental, económica e social, e cada vez mais é reconhecida por todos como um espaço de extrema importância para a qualidade de vida da sociedade e para a manutenção dos recursos naturais ^[14].

2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO: A EVOLUÇÃO DA FLORESTA PORTUGUESA

Há cerca de 500 milhões de anos atrás, musgos cobriam partes do território continental. As primeiras árvores e as primeiras florestas datam do período geológico do Devónico (409 a 363 milhões de anos antes da atualidade ^[15]). Durante o período Mesozoico (245 a 65 milhões de anos atrás ^[15]), florestas frondosas, vários grupos de fetos e coníferas, serviram de pasto aos dinossauros herbívoros ^[16].

O Oceano *Tetis* dividia o supercontinente *Pangaea* em dois – *Laurasia*, a Norte, e *Gondwana*, a Sul ^[16]. Aquando do período Oligocénico (há 25 milhões de anos ^[15]), o dito oceano, que se encontrava já bastante reduzido devido aos movimentos continentais, dividiu-se em dois, com a junção dos continentes asiático e africano ^[16]. Os dois mares formados foram-se reduzindo com a aproximação do continente africano ao europeu, dando origem aos mares Cáspio, Negro e Aral, a Nordeste, enquanto o mar do Sudeste se juntou com o atual oceano Índico ^[16].

O mar mediterrâneo, ou *Mare Mediterranean* (mar no meio da terra), surgiu quando a deriva dos continentes levou ao choque entre o continente europeu e o africano, fechando o oceano criado a sudoeste na zona ocidental e dando origem a este mar ^[16]. A reabertura ocidental do mar mediterrâneo ao oceano atlântico, através do Estreito de Gibraltar, favoreceu a renovação da água da Bacia Mediterrânica, que quase secou ^[16]. Neste período, o Pliocénico, as massas continentais e as características fisiográficas e geomorfológicas assemelhavam-se já à configuração que atualmente se conhece ^[16].

No fim do período Terciário os continentes assumiram o posicionamento atual, surgiu o clima mediterrânico e o coberto vegetal sofreu uma completa transformação dando origem à vegetação que hoje conhecemos ^[17].

O Pliocénico (de 5,4 milhões de anos até 1,6 milhões de anos atrás ^[15]) é a última subdivisão do longo período Terciário e a última etapa do arrefecimento global que levou às idades do gelo do período Quaternário ^[16].

Durante as grandes mudanças climáticas pleistocénicas, com avanços e recuos dos gelos continentais (glaciações), o território português encontrava-se coberto de florestas diferentes das atuais ^[17]. No Norte da Europa e em zonas de maior altitude, a flora tropical foi desaparecendo e as florestas

caducifólias foram substituídas por florestas de coníferas ^[16]. Com oscilações entre zonas áridas e semiáridas e zonas com condições méxicas, o clima mediterrânico estabeleceu-se e a vegetação desenvolveu-se para o que hoje caracteriza a região ^[16]. Há 20 milhões de anos, antes da última glaciação, com um clima subtropical e húmido, Portugal estava coberto de uma floresta de lenhosas com folhagem persistente, cuja composição apenas se assemelha ao que existe hoje nos Açores, Canárias e Madeira ^[17]. Árvores como loureiro, o vinhático, o til e o barbuzano pertenciam à família das Lauráceas. As condições deste período permitiram formar e começar a desenvolver o mediterrânico que hoje conhecemos, apesar das glaciações do início do quaternário terem sido determinantes para eliminar o que era representativo do período terciário, apenas tendo sido poupados os arquipélagos já referidos ^[16]. Nos ditos arquipélagos, a floresta *Laurisilva* não foi devastada pela glaciação pois, sendo ilhas, a água que as rodeia funcionou como agente termorregulador, assim as temperaturas não atingiram valores tão baixos como aconteceu nas regiões continentais, pelo que a *Laurisilva* pôde sobreviver aí, enquanto era destruída no continente.

Os ventos começaram a soprar mais quentes, o clima que hoje caracteriza a região mediterrânea instalou-se e um grande número de novas espécies de plantas surgiu, muitas delas adaptadas ao fogo. Ao novo tipo de floresta que se formou, deu-se o nome de *Fagosilva* ^[17], devido à presença de árvores da família das Fagáceas, como os carvalhos e os castanheiros. Surgiram também as estevas, os azambujeiros, os bosques de folha persistente, os matos altos, os estevais e as plantas aromáticas de calcários.

O povo lusitano vivia desta floresta: caçava, pescava, colhia frutos e verduras. A iniciação da *Fagosilva* começa quando o Homem descobre o cereal e o começa a cultivar, ao mesmo tempo que começou a domesticar animais como a cabra, a ovelha e o porco ^[17].

Os Descobrimentos também tiveram a sua quota-parte de responsabilidade na devastação da floresta nacional, pois usaram madeira de azinheira e de sobreiro para a construção naval ^[17]. Com as montanhas desarborizadas, a população passou a viver do pastoreio e devido à grande quantidade de animais que pastava, os ecossistemas da montanha degradaram-se e verificou-se a erosão do solo ^[17]. Os fogos e a prática das queimadas nas regiões agrícolas e de pastoreio contribuíram para a desertificação das nossas montanhas ^[17].

No último século, o sector florestal atravessou duas fases distintas: a expansão florestal e a expansão industrial. A primeira fase concentrou-se na criação do recurso floresta, enquanto a segunda correspondeu ao aumento da taxa de utilização do recurso. Atualmente, uma terceira fase está a iniciar, correspondendo à “*melhoria da qualidade, da eficiência e do valor agregado do sector em áreas específicas*” ^[18].

Durante a década de 1930, grandes extensões das serras portuguesas foram plantadas pelos Serviços Florestais existentes, essencialmente com pinheiro bravo. Esta espécie de crescimento mais rápido que o carvalho, foi plantada em maior abundância que o pinheiro manso e do que as folhosas. Após a criação dos “Serviços Florestais” e da política de arborização do Estado Novo, Portugal passou a ter a maior área de pinhal contínuo da Europa ^[17]. No entanto, esta espécie, pouco adaptada ao solo e clima português, aumentou o risco de incêndio. Atualmente, o investimento é feito em plantações de eucalipto, árvores de crescimento mais rápido muito usadas na indústria do papel, que por consumir muita água e esgotando a existência da mesma no solo, faz o risco de incêndio persistir.

Se outrora as montanhas nacionais se encontravam cobertas por carvalhais caducifólios e mais tarde se transformaram num imenso pinhal, nas últimas décadas, com a desenfreada plantação de eucaliptos, criou-se em Portugal a maior área de eucaliptal contínuo da Europa ^[17].

De acordo com o Inventário Florestal Nacional (IFN), com dados relativos a 2010, o eucalipto é a espécie que maior área ocupa na floresta portuguesa, dando por encerrada a era em que o pinheiro-bravo dominou a floresta nacional, não resistindo à década de incêndios e pragas, nem à má gestão florestal ^[11]. Entre 1995 e 2010, a área ocupada por pinheiro-bravo diminuiu 13%, contra um aumento de 16% de eucaliptais ^[11].

A vegetação autóctone da região mediterrânica, cuja área de ocupação tem diminuído, está naturalmente bem adaptada ao fogo, resistindo melhor aos efeitos dos incêndios florestais, mas os povoamentos em monocultura destas duas espécies aumentam a sensibilidade às ocorrências, pois tanto o pinheiro como o eucalipto são árvores com grande inflamabilidade e combustibilidade.

As últimas três décadas foram de grande turbulência para o sector florestal, pois fatores externos contribuíram para criar uma imagem de altos riscos de investimento e gestão a ele associados ^[18]. O futuro desenvolvimento do sector continuará a basear-se na atividade privada mas, a menos que os riscos sejam reduzidos, prevê-se difícil continuar a assegurar o investimento privado no sector ^[18]. Os riscos na atividade florestal não são uma novidade, mas a sua magnitude são um fenómeno recente, pelo que é essencial perceber os fatores que contribuíram para esta mudança de contexto ^[18].

A floresta portuguesa evoluiu, progrediu, regrediu e transformou-se, quer de forma natural quer por ações antrópicas, mas mantendo-se uma fonte de riqueza essencial à vida, que é necessário cuidar e preservar. Para que sejam mantidos os altos valores económicos associados ao sector florestal, assegurando a sua competitividade e sustentabilidade, é necessário garantir que tanto os riscos reais como os riscos percebidos são diminuídos, sendo este aspeto uma importante componente da estratégia florestal adotada esta década ^[18].

2.2. A IMPORTÂNCIA DE UMA GESTÃO SUSTENTÁVEL DA FLORESTA

Desde sempre que as florestas fornecem bens e serviços para a sociedade ^[19], mas as sociedades antigas viam-na como um recurso inesgotável, pelo que a sua atitude era a de as destruir, quer para utilizar os seus produtos, quer para aumentar as áreas disponíveis para agricultura e pastoreio.

Após esta fase de pré-silvicultura, nasce, historicamente, a noção de sustentabilidade, com a necessidade de gerir os recursos florestais a longo prazo ^[1], ao surgir, no século XIX, uma grande preocupação com a sustentabilidade de um produto florestal específico, a madeira, com o objetivo de se assegurar a sua oferta ^[20]. As florestas são, então, pioneiras no que ao conceito de sustentabilidade diz respeito; com o tempo esta noção expandiu-se à pesca e, mais tarde, devido à evolução demográfica e à preocupação com outros recursos naturais, generalizou-se ao planeta ^[1, 19].

Em diversas regiões do globo, o uso inadequado dos espaços florestais provocou degradação ecológica e socioeconómica, com consequências negativas evidentes tanto a nível local como global ^[14]. Aquando de uma boa gestão da florestal, esta proporciona serviços imateriais, como a integridade dos sistemas fluviais, a conservação e proteção dos solos e da biodiversidade, a possibilidade de lazer e a paisagem, para deleite da sociedade ^[1].

A floresta é multifuncional e a boa gestão florestal deve, portanto, ser sustentável ^[1]. A sustentabilidade de uma floresta implica mais do que uma boa gestão que eternize o fornecimento de bens com importância económica direta, como é o caso das matérias-primas para a indústria ^[1], implicando considerações éticas e políticas que reflitam, para além dos interesses económicos em recursos naturais, a necessidade cultural da sustentabilidade do ecossistema florestal ^[19].

2.2.1. Norma 4406:2009

O conceito de “Normalização” encontra-se definido na norma NP EN 45020 como a atividade que se destina a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, as disposições para utilização comum e repetida, com o objetivo de atingir, em determinado contexto, um grau ótimo de ordem ^[20].

A Norma NP 4406 estabelece a aplicação dos critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável, atendendo a aspetos sociais, económicos e ambientais. Com base na norma, qualquer proprietário ou responsável pela Unidade de Gestão Florestal (UGF) pode definir uma política florestal e objetivos atendendo às exigências legais ^[21].

A Norma é aplicável a unidades de gestão florestal cujo objetivo seja a implementação, manutenção ou melhoramento de um sistema de gestão florestal sustentável; que pretendam demonstrar, perante

terceiros, a sua conformidade perante a política florestal interna definida; que ambicione obter a certificação do seu sistema de gestão florestal sustentável por uma entidade externa [21].

O responsável pela UGF tem o dever de estabelecer e manter atualizado o sistema de gestão, cujos requisitos englobam a política para a UGF, a avaliação de impactes, os seis critérios pan-europeus definidos para a gestão florestal sustentável, o plano de gestão florestal do sistema de gestão florestal sustentável e as condições de operacionalização [21].

2.2.2. O caso da Galiza

A região da Galiza, no norte de Espanha lida, tal como Portugal, de forma recorrente, com a problemática dos incêndios florestais, no entanto pode ser considerado um caso de sucesso no que diz respeito à mitigação dos mesmos [22], uma vez que após os grandes incêndios ocorridos em Portugal no ano de 2003, a região espanhola quis “*aprender com os nossos erros*” [23]. O Governo espanhol reconheceu a má gestão florestal que se encontrava em prática, que inibia também o desenvolvimento industrial, optando por formular e adotar novas estratégias, que visam o desenvolvimento do sector florestal com base nos princípios de uma gestão florestal sustentável [23]. O sector florestal galego é responsável pela produção de 8 milhões de m³ de madeira e representa 12% do emprego industrial na região [23].

Considera-se que um sector florestal é o motor para o desenvolvimento económico rural da região [25]. Uma das principais oposições ao desenvolvimento da floresta galega é semelhante ao que acontece no nosso país: 97% da área florestal encontra-se na posse de privados, observando-se um padrão de propriedade fragmentada em áreas muitas vezes inferiores a 2 ha, dificultando o desenvolvimento sustentável do sector [23]. Também a Galiza padece de um problema na interface urbano-florestal, sendo que muitas vezes os bombeiros são obrigados a desviar recursos para proteção de habitações e infraestruturas [22]. O risco de incêndio florestal inibe o desenvolvimento da gestão florestal através de ações silvícolas, pois os proprietários, sabendo que correm o risco de não obter benefícios, optam, muitas vezes, por não investir [22].

A gestão florestal sustentável na Galiza esteve de acordo com oito linhas de ação, promovendo a participação ativa dos proprietários florestais e de toda a comunidade galega [24]:

- Desenvolvimento do quadro jurídico para a gestão florestal sustentável;
- Estabelecimento de estruturas integradas de gestão e processos de sustentável florestal;
- Desenvolvimento dos critérios e indicadores de sustentabilidade;

- Estabelecimento de um sistema preciso e confiável de informação florestal;
- Promover uma maior investigação sobre a sustentabilidade da floresta;
- Promover a educação florestal pública para facilitar a compreensão e participação;
- Promover e apoiar o desenvolvimento económico do setor florestal da Galiza;
- Promoção da certificação florestal.

Um dos objetivos principais do plano seria a implementação de políticas de prevenção e combate contra incêndios florestais ^[25], atendendo a que direcionar fundos monetários apenas para o combate a incêndios é errado, pois os montantes devem também ser investidos em ações preventivas, como a gestão de combustível, a sensibilização da população, a abertura de caminhos e a criação de outras infraestruturas importantes na defesa da floresta contra incêndios ^[22].

Quase uma década após a definição de um plano de gestão florestal sustentável, algumas lacunas foram apontadas: participação pública insuficiente, falta de clareza em relação às funções dos proprietários e insuficiência de bases legislativas ^[23]. No entanto, a região tem consciência de que a adoção de medidas sustentáveis é crucial para o desenvolvimento e sobrevivência a longo prazo ^[23].

2.3. CARACTERIZAÇÃO DA FLORESTA PORTUGUESA

Cerca de dois terços do território continental português estão cobertos por espaços florestais: 32% por matos e pastagens e 35% pelos povoamentos florestais ^[11]. Em 2010, aquando da última atualização do Inventário Florestal Nacional (IFN), os povoamentos florestais ocupavam cerca de 35,4% do solo nacional, o que corresponde a quase 3,5 milhões de hectares. Estes números fazem de Portugal um dos países da União Europeia com maior taxa de arborização. Em 1870, a área florestal representava entre 4 a 7% do território nacional e, num século, passou a representar mais de 30%, sendo Portugal o país europeu onde se verificou a mais rápida transição entre a desarborização e a reflorestação ^[1]. No período decorrido entre 1995 e 2010, a área florestal diminuiu cerca de 0,3% por ano, no entanto, a área arborizada aumentou cerca de 0,4% por ano durante o mesmo período ^[11]. O crescimento contínuo da superfície arborizada resulta de diversos fatores, entre os quais se destacam a iniciativa privada no âmbito do crescimento das fileiras emergentes, os programas estatais de fomento de arborização em terrenos públicos e privados, a regeneração natural da floresta em pastagens, terrenos agrícolas abandonados e algumas áreas percorridas por incêndios ^[2]. A floresta portuguesa é maioritariamente propriedade de privados, tendo o estado posse de cerca de 5%. No Sistema Nacional de Áreas de Conservação (SNAC) estão incluídos cerca de 19% da floresta de Portugal continental.

Apenas 6% da floresta continental nacional se encontra sob alçada do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) ^[11].

Na região autónoma da Madeira, de acordo com a Estratégia Nacional para as Florestas (2006), cerca de 44% do território é ocupado por espaços florestais, o que corresponde a aproximadamente 35 600 hectares: 44% por floresta natural e os restantes 56% por floresta exótica. Tal como acontece no continente, o espaço é maioritariamente privado ^[18].

Na região autónoma dos Açores, existem pouco mais de 70 mil hectares de floresta, maioritariamente exótica (92%), correspondendo a 30% do território total da região. 33% do território florestal pertence ao sector público ^[18].

No que diz respeito a espécies florestais, é possível dividir as árvores existentes em duas grandes classes: resinosas e folhosas ^[24]. A principal diferença entre estes dois tipos de árvores está na sua estrutura celular, sendo as folhosas mais complexas estrutural e anatomicamente. As árvores resinosas são características das zonas com clima frio e temperado e as árvores folhosas são próprias de zonas temperadas tropicais.

Na Figura 2.1 é possível observar as espécies/grupos de espécies que se encontram na floresta nacional e respetivas áreas em percentagem.

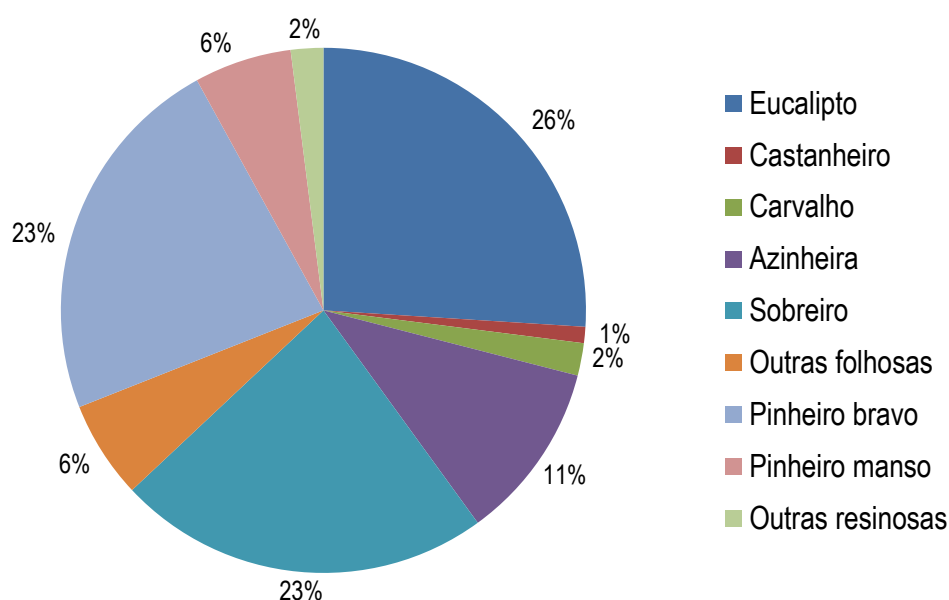


Figura 2.1 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupos de espécies ^[11].

Como se verifica na Figura 2.1, a floresta continental portuguesa tem 69% da sua área ocupada por espécies folhosas e os restantes 31% ocupados por espécies resinosas. O eucalipto ocupa 812 mil hectares da floresta, o que corresponde a 26% da área total, sendo esta folhosa a maior ocupação da floresta continental. Segue-se o sobreiro, que ocupa 737 mil hectares e o pinheiro-bravo, presente em 714 mil hectares ^[11].

2.4. A FLORESTA PORTUGUESA E A ECONOMIA NACIONAL

Poucas coisas conseguem ter tanto valor em tão diversas vertentes como a floresta, pois ela dá resposta a cada um dos três pilares do desenvolvimento - economia, sociedade e ambiente ^[25]. Dois terços do território nacional correspondem a espaços florestais, o que faz da atividade florestal uma fonte de riqueza cuja forte vocação produtiva e importância devem ser reconhecidas pela população ^[3, 26].

A floresta tem diversas funções que podem ser valorizadas economicamente: gera riqueza, representa uma fonte de diversos produtos como a madeira, a cortiça, a resina, frutos e mel, fornece o oxigénio essencial à nossa sobrevivência, protege o solo contra a erosão hídrica e eólica, favorece o enquadramento na paisagem, alberga e conserva diversas espécies, habitats e flora ^[25, 26].

Mais de 60% da floresta portuguesa tem como função a produção de material lenhoso e 30% produz bens não-lenhosos, como a cortiça e os frutos ^[3]. Aquando da publicação do último relatório global do estudo de avaliação da implementação da ENF, em Julho de 2012, o sector florestal representava 12% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial e 5,3% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) nacional ^[3]. 12% do emprego na indústria pertence ao sector florestal e o seu contributo nas contas externas é notável, representando 9% das exportações e 4% das importações ^[3]. Relativamente às exportações, mais de metade (55%) corresponde à indústria do papel (13,3% de pasta celulósica e 41,7% de papel), a madeira e o mobiliário representam quase 25% das exportações, os restantes 20% correspondem à venda de rolhas de cortiça e produtos derivados. O relatório referido menciona o facto de, apesar do sector da cortiça ter uma fatia relativamente baixa no que diz respeito às exportações, os produtos de cortiça são considerados como os produtos portugueses cujo Índice de Vantagens comparativas Reveladas (IVcR) é maior ^[3]. O IVcR é o valor que mede a intensidade da especialização do comércio internacional de um país relativamente a uma região ou ao mundo.

Uma vez que é inerente à floresta um enorme valor económico, social e ambiental, o seu abandono e destruição são consequências que podem ser consideradas dramáticas para o país ^[31]. O custo económico para o país associado aos incêndios florestais é gigante, entre medidas de prevenção,

investimentos em transportes terrestres e aéreos, bombeiros, e todos os custos associados à recuperação das áreas atingidas. Os incêndios florestais de grande dimensão são considerados a terceira catástrofe natural com maiores impactos económicos na Europa Mediterrânica, tendo-se estimado em Portugal danos económicos causados por incêndios florestais de cerca de 3 milhões de euros [28].

2.5. PROBLEMAS ASSOCIADOS A FLORESTAS

2.5.1. Desflorestação e declínio florestal

A desflorestação corresponde à destruição massiva dos ecossistemas florestais, que apesar de poder ocorrer por motivos naturais (incêndios florestais causados por trovoadas secas e alterações climáticas), acontece maioritariamente para satisfazer necessidades antrópicas. Por não ser seguida de uma reflorestação, a desflorestação é um problema que afeta inclusive os mecanismos através dos quais a natureza regenera os seus ecossistemas naturais.

A desflorestação acarreta diversas consequências, como a diminuição da biodiversidade, o aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico e consequente efeito estufa, alterações no ciclo hidrológico, pois as árvores funcionam como intermediário entre o vapor de água atmosférico e o solo, aumento da erosão dos terrenos e consequente aumento da aridez, que conduz à desertificação de algumas áreas por ser impossível a recuperação dos solos para uso agrícola ou florestal, aumento da dispersão de poluentes e alterações nos ciclos biogeoquímicos do oxigénio e do carbono.

A violência e extensão dos incêndios florestais dos últimos anos, o contínuo abate de árvores para diversos fins (para urbanização e construção de infraestruturas, como matéria-prima, para ocupação agrícola dos terrenos, etc.), as chuvas ácidas, a introdução de espécies como o eucalipto e o pinheiro-bravo e o declínio de certas espécies, têm sido fatores que contribuem para o declínio florestal.

2.5.2. Pragas e doenças

Nos ecossistemas florestais, as árvores encontram-se expostas à ação de fatores bióticos e abióticos, que podem interferir e alterar as suas funções vitais, causando doenças e pragas que por sua vez podem provocar reduções no crescimento das árvores, deformações no tronco, alterações na qualidade da madeira, destruição de sementes e mortalidade da floresta [29].

Uma árvore fica doente quando, após ter estado exposta de forma contínua à ação de um organismo nocivo ou fator ambiental prejudicial, as suas funções celulares apresentam mau funcionamento. Podem detetar-se alguns sintomas, como por exemplo manchas nas folhas e agulhas, cancrios e podridão do tronco, podridão das raízes e morte da árvore. Estes sintomas não são difíceis de reconhecer, no entanto os mesmos sintomas podem ser consequência de diferentes organismos, pelo que é difícil a correta identificação do organismo patogénico [29].

Nos ecossistemas florestais naturais existem, logicamente, árvores com idades diferentes, cuja suscetibilidade às doenças é maior nas árvores mais antigas, as doenças têm normalmente carácter endémico e ataques esporádicos ocorrem [29].

Com o aumento da exploração florestal e das atividades antrópicas, o controlo natural das doenças diminui, pelo que a probabilidade de uma doença se tornar epidémica é maior. A suscetibilidade das árvores exploradas aumenta, pois árvores como os pinheiros onde se efetua a resinagem ou os sobreiros sujeitos a descortiçamento podem ser feridas durante as operações culturais [29].

A manutenção de um povoamento florestal em bom estado vegetativo é fundamental, pois operações como podas e desbastes podem gerar desequilíbrios propícios ao desenvolvimento de doenças. Uma vez que não existe um método universal para lutar contra as doenças das florestas, para a sua saúde e continuidade ser assegurada, deve ser promovida a diversidade dos ecossistemas com recurso a práticas de gestão integrada [29].

2.5.3. Alteração nos regimes de fogo

O fogo é considerado um dos quatro elementos essenciais no universo, fazendo parte da natureza desde sempre. A presença do Homem na Terra alterou profundamente o fenómeno do fogo assim que o Homem passou a ocupar um lugar de destaque no triângulo do fogo, pois aprendeu a controlá-lo e a manuseá-lo. A influência do Homem na floresta com recurso ao fogo é, então, bastante antiga, pelo que é evidente a sua contribuição para a alteração dos regimes de fogo, que cada vez mais é causado por atividades humanas e não por causas naturais [30].

Se até à década de 1970 os incêndios florestais não eram um problema para a floresta nacional, são-no hoje. Usando o fogo, o Homem abriu as florestas, com o objetivo de alargar áreas de pastoreio e criar espaços destinados à agricultura. Mais tarde, com o desenvolvimento industrial e a transformação da sociedade rural em sociedade urbana, esses espaços foram abandonados, provocando um aumento de combustível, que alimenta os incêndios florestais [30].

2.5.4. O caso da interface urbano-florestal

O conceito de “urbano-florestal” foi definido em 1974, “como sendo qualquer ponto onde o combustível consumido por um *incêndio* passa de *combustível natural* (*árvores, arbustos e gramíneas*) a *combustível artificial ou criado pelo homem* (*casas, anexos,...*)” [27].

Devido ao êxodo rural, algumas habitações em áreas florestais ficaram ao abandono, mas, pelo contrário, houve uma necessidade da cidade “entrar” pela floresta, aumentando a superfície dos aglomerados urbanos em contacto com áreas florestais [27, 31], pelo que é comum a ocorrência de incêndios nestas zonas de interface, pois a sociedade optou por aproximar-se da floresta de uma maneira errada, ignorando um correto ordenamento do território, que apesar de ser agradável para os habitantes, se torna extremamente perigoso para os habitats [27, 32]. Enumeras habitações encontram-se em contacto direto com a floresta, ignorando medidas preventivas relativamente aos incêndios florestais [27].

Para além do elevado risco de ignição derivado das atividades humanas, o grande problema das habitações na interface urbano-florestal é a falta de cuidado com a vegetação espontânea que nasce nos pátios e jardins, pois quando esta passa de vegetação herbácea para mato, a carga de combustível aumenta na proximidade das habitações, aumentando o perigo a que a população fica exposta [27, 31].

Os danos dos incêndios florestais são significativamente maiores nas zonas de interface do que nas áreas apenas florestais, devido à perda de infraestruturas e da maior probabilidade de perda de vidas humanas, sendo essencial que as populações vivam informadas do perigo que correm para que seja possível evitar ao máximo a aproximação dos incêndios florestais às habitações [27, 32].

Distinguem-se dois tipos de interface entre áreas florestais e áreas habitadas [33]:

- “*Zona habitacional compacta que confina diretamente com a floresta*” – situação em que muitas casas poderão ser afetadas por um incêndio, normalmente aldeias de reduzida dimensão inseridas em manchas florestais.
- “*Zona habitacional ou casas dispersas misturadas com a vegetação florestal*” – situação em que as habitações, por existirem de forma isolada, estão mais vulneráveis.

Para avaliar o risco de incêndio na interface urbano-florestal, é necessário considerar alguns fatores [34]: vias de acesso, vegetação, declive e localização das casas nas encostas, material de construção das habitações, infraestruturas urbanas e de apoio e combate aos incêndios.

Para minimizar o risco de incêndio na interface urbano-florestal, algumas medidas devem ser adotadas, como por exemplo a limpeza do sub-bosque no perímetro das habitações, a poda de ramos baixos e a criação de uma zona de proteção para diminuir a intensidade e a velocidade de propagação do incêndio florestal [27, 31].

2.6. QUADRO LEGAL E INSTITUCIONAL

A organização dos Serviços Florestais do Estado tem sofrido alterações constantes nos últimos anos, consequência de sucessivas reestruturações, pelo que são imensos os instrumentos legislativos de orientação para a intervenção nos espaços florestais, podendo ser encontrado em Anexo a listagem, de forma cronológica, das diversas leis e portarias existentes nos vários campos que constituem o sector florestal: defesa da floresta contra incêndios, ordenamento florestal, sapadores florestais, fiscalização, recuperação de áreas ardidas, rearborização com espécies de crescimento rápido, proteção de espécies nativas, introdução de espécies não naturais, pragas e doenças, proteção civil, aproveitamento da biomassa, entre outros.

Importa referir, no entanto, que as diversas alterações que têm sido feitas à estrutura legislativa florestal prejudicam a capacidade de intervenção nos espaços florestais [1]. As políticas atuais encontram-se direccionadas para a gestão florestal. Atendendo à situação mediterrânica, a sua aplicação implica a participação da administração pública, até porque os incêndios florestais estão relacionados com fatores socioeconómicos, tanto a nível de causas como de consequências [1].

Das políticas existentes, destacam-se a Lei de Bases da Política Florestal, datada de 1996, a Estratégia Nacional para as Florestas, publicada em 2006 e o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, também de 2006.

Após os grandes incêndios de 2003 e 2005 tornou-se extremamente importante que os planos elaborados constituíssem estratégias passíveis de ser seguidas e ajustadas no futuro. No que diz respeito ao Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, as bases legislativas encontram-se no Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho, com alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro e pelo Decreto-Lei n.º 114/2001. Todos os anos, após o início da fase BRAVO, é publicada uma Portaria que define o período crítico no âmbito do Sistema Nacional da Defesa da Floresta contra Incêndios [35].

3. A PROBLEMÁTICA DOS INCÊNDIOS

O fogo é parte integrante dos ecossistemas, é um elemento da natureza do qual muitas vezes o homem faz uso para diversas atividades. Como componente natural dos ecossistemas, o fogo é essencial no equilíbrio dos mesmos, assumindo um importante papel na área da biodiversidade e criação de habitats. À ocorrência de um fogo que não é controlado pelo homem e afeta a vegetação que cobre os terrenos florestais, dá-se o nome de incêndio florestal. Zonas secas, sub-humanas e semiáridas são mais suscetíveis à ocorrência de grandes incêndios florestais do que zonas que não permitem uma vegetação contínua, devido à acumulação de combustível com baixos índices de humidade [31].

O chamado “triângulo do fogo”, Figura 3.1, reúne os motivos pelos quais um fogo florestal acontece: porque existe um combustível, comburente (O_2) e uma fonte de ignição ou energia de ativação (calor) [36].



Figura 3.1 – Triângulo do fogo.

O fogo moldou a vegetação nativa e favoreceu as espécies que a ele se conseguiram adaptar, regenerando-se com maior intensidade após os incêndios [27, 37]. Nestes casos, o fogo é uma força ecológica fundamental, que determina a forma, estrutura e diversidade da paisagem. Para além destes ecossistemas adaptados ao fogo, há também os ecossistemas sensíveis ao fogo, que são aqueles que,

por não estarem habituados a sofrer com a problemática dos incêndios, não desenvolveram mecanismos de adaptação, sendo mais sensíveis à passagem do fogo e sofrendo consequências mais evidentes [31].

Todos os anos os incêndios florestais destroem, em todo o mundo, extensas áreas de floresta, sendo a região do mediterrâneo uma das mais fortemente afetadas devido às características do seu clima, tão propício à ocorrência de fogos florestais de grandes dimensões. Os seus verões caracterizam-se pelas temperaturas elevadas e precipitação reduzida, tornando a vegetação facilmente inflamável devido à secura estival [38]. Como referido anteriormente, os fogos florestais são um elemento necessário na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, no entanto, em diversas regiões do globo, nomeadamente em Portugal, os incêndios florestais tornaram-se, sem dúvida, o maior problema da floresta, prejudicando atividades recreativas e económicas, como a produção de madeira – estudos afirmam que pequenas frações de floresta queimada podem refletir-se em diminuições substanciais na oferta de madeira a longo prazo, colocando em risco a segurança das populações pois com o crescimento das áreas residenciais na direção das florestas as populações sujeitam-se a um risco acrescido, destruindo infraestruturas e alterando a paisagem.

Foi publicado, em 2001, um “Manual do Utilizador” para a “Classificação dos incêndios florestais”, cujo objetivo é uniformizar os critérios, conceitos e metodologias no que se refere à classificação dos incêndios florestais, de acordo com a Norma Operacional Permanente de Classificação de Ocorrências – NOP 3101/2001 [39].

Conhecer o risco de incêndio é bastante importante e até prioritário, pois permite uma melhor orientação na prevenção de fogos florestais, gestão de meios e medidas de combate e intervenções corretas ao nível do ordenamento florestal [40].

O livro *Climate Change In Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project* (2002) refere que o aumento do risco de fogo favorecido por condições meteorológicas é uma consequência inevitável dos padrões de alteração climática, prevendo para Portugal uma atmosfera com duas vezes mais dióxido de carbono, o que fará aumentar o risco de incêndio, ao mesmo tempo que dificultará o seu combate. É sabido que o risco de incêndio significa também um risco económico, social e ambiental, colocando-se em questão a futura viabilidade da indústria florestal e os recursos naturais, como a água e o solo, que serão bastante afetados.

Dados os cenários catastróficos que Portugal tem enfrentado nos últimos anos no que diz respeito aos incêndios florestais, é essencial agir no sentido de parar a proliferação desta situação [14]. Apesar da impossibilidade de controlar a natureza, é possível minimizar a frequência e duração dos incêndios.

3.1. DADOS ESTATÍSTICOS

A associação entre as palavras “floresta” e “incêndio” tornou-se bastante comum devido à quantidade de incêndios florestais que todos os anos assolam Portugal, causando prejuízos económicos, sociais e ambientais. Uma vez que este estudo remete para a problemática dos incêndios florestais, torna-se pertinente analisar sumariamente dados estatísticos relativos à ocorrência deste fenómeno no nosso país.

Os incêndios florestais podem ser estudados a partir de duas perspetivas: o número de ocorrências ou a área ardida – uma ocorrência nem sempre resulta numa situação crítica pois pode ser rapidamente suprimida, pelo que tem mais interesse o enfoque nas áreas ardidas. Se por um lado o número de ocorrências está relacionado com as causas dos incêndios, a área ardida traduz as variáveis de natureza física e da eficiência ou não dos modos de combate [40].

Como é sabido, de entre os vários países que sofrem sistematicamente com a problemática dos incêndios florestais, Portugal evidencia-se, não só pelo número de ocorrências verificadas mas, mais ainda, pela dimensão das áreas queimadas, verificando-se a existência de alguns anos bastante complexos. O número de incêndios florestais tem aumentado nos últimos anos, assim como a sua gravidade. Nas Figura 3.2 e 3.3 é possível observar as ocorrências registadas e a área de floresta ardida desde 1980 até Outubro de 2013.

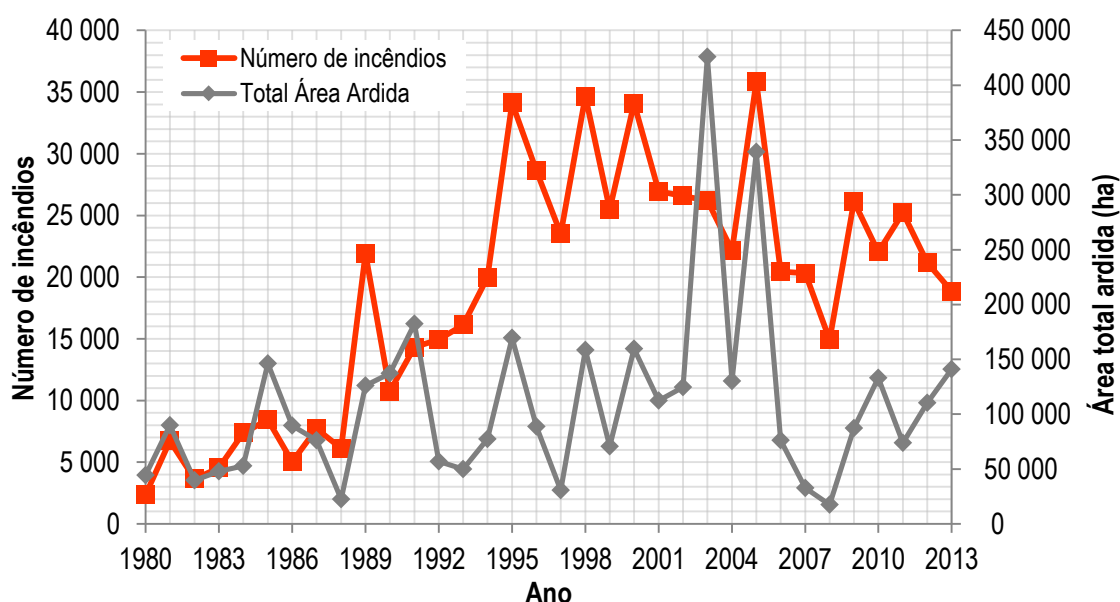


Figura 3.2 – Número de ocorrências e área total ardida em Portugal entre 1980 e Outubro de 2013 [41].

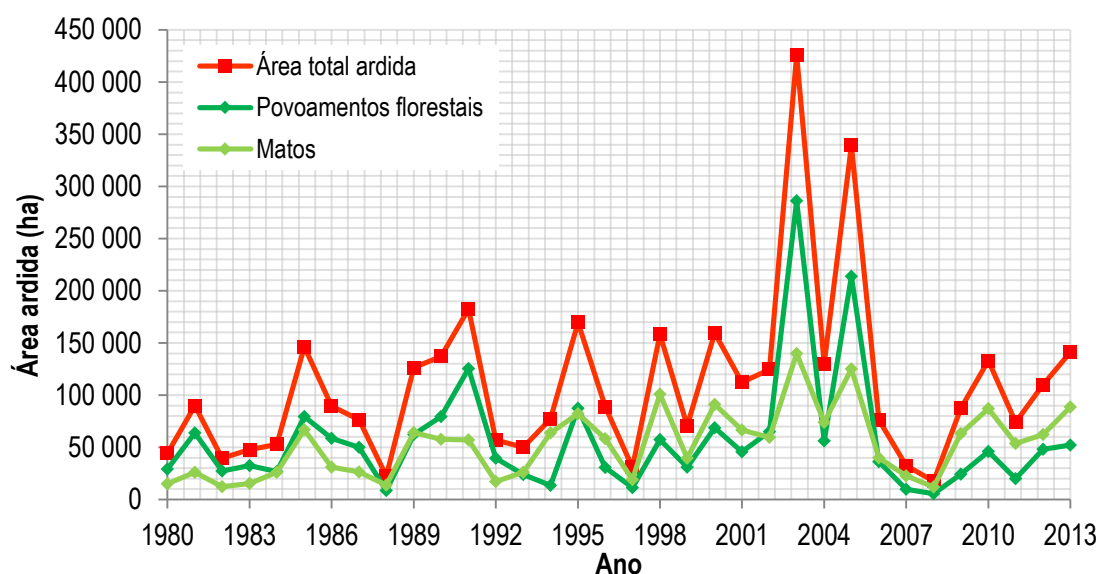


Figura 3.3 – Área ardida (ha) em Portugal entre 1980 e Outubro de 2013 ^[41].

Nos últimos 20 anos, o número de incêndios florestais sofreu um aumento considerável. Observando a Figura 3.2, é possível verificar que o ano de 1995 marca o início de um período com valores muito elevados de ocorrências, com 34 116 registos. Os anos com maior número de ocorrências são os de 1998 (34 675), 2000 (34 107) e 2005 (35 824). O ano de 2005 apresentou condições meteorológicas muito favoráveis ao surgimento de incêndios florestais, razão pela qual nesse ano se atingiu o valor máximo alguma vez verificado. Nos anos mais recentes verifica-se uma diminuição no número de ocorrências, apesar dos seus valores ainda serem bastante elevados. Entre os anos de 1980 e 1994, a média de ocorrências verificadas é próxima de 10 mil, tendo-se verificado o maior número de incêndios florestais em 1989, com 21 896 ocorrências, valor bastante superior à média. Entre 1995 e 2005 verifica-se uma média de aproximadamente 29 mil ocorrências por ano, sendo que a partir de 2006 até Outubro de 2013, a média diminui para perto de 21 mil ocorrências anuais. Como se verifica, não existe uma relação linear entre o número de ocorrências e a área ardida.

Analisando a Figura 3.3, os anos de 2003 e 2005 destacam-se como aqueles em que a área total ardida foi maior, com 425 839 ha e 339 089 ha, respetivamente. O ano de 2003 foi o mais devastador de que há memória em termos de área ardida mas, mais ainda, pelas vinte e uma vidas humanas perdidas. As condições climáticas contribuíram para este período tão crítico. Portugal atravessou, em 2003, um inverno e início de primavera com precipitação elevada, favorecendo o crescimento da vegetação fina e arbustiva, favorável à propagação do fogo ^[42]. Seguiu-se um longo período de seca, entre Maio e Setembro, com duas ondas de calor, em Agosto e Setembro, em que as temperaturas registadas foram extremamente elevadas, principalmente no interior do país, e os valores de humidade

relativa bastante baixos. As chamadas “trovoadas secas” originaram, em 2003, cerca de 12% dos grandes incêndios (área superior a 100 hectares) verificados. Seguiu-se um Inverno e Primavera cujas médias de precipitação foram superiores em 50% aos valores normais. Chegado o ano de 2005, o país atravessou um período de seca, tornando a vegetação propensa a suportar a combustão, pois os níveis de humidade encontravam-se muito baixos. O ano de 2013 é o terceiro ano na última década em que a área ardida foi maior, tendo-se registado, até Outubro, uma área ardida de 140 000 hectares. As condições meteorológicas deste ano apresentam algumas semelhanças tanto com 2003 como com 2005: em Janeiro e Fevereiro os valores de precipitação foram normais mas nos quatro meses que se seguiram atingiram-se valores elevados de precipitação, pouco comuns, que mais uma vez originaram o crescimento de vegetação fina ^[42]. Nos meses de verão, em Julho, Agosto e Setembro, praticamente não choveu e ocorreram algumas vagas de calor, estando deste modo reunidas as condições para a ignição e propagação de grandes incêndios.

Apesar de nos anos mais recentes não se verificarem valores tão altos de área total ardida, constata-se um aumento na área de mato que ardeu. Entre os anos de 1980 e 1994, período com menor número de ocorrências verificadas, a média de área total ardida é de 82 592 ha, sendo que 1991 é o único ano que apresenta um valor superior a 150 mil ha, com 182 486 ha de área total ardida. Entre 1995 e 2005 verifica-se uma média de quase 165 000 ha ardidos, com especial destaque, como já referido, para os anos históricos de 2003 e 2005. De 2006 até outubro de 2013, nunca se atingiram valores superiores a 150 000 ha de área ardida, verificando-se uma média próxima de 84 000 ha. Em 2008 verificou-se um valor histórico, pela positiva, na área total ardida, com 17 565 ha, tendo sido esse um ano onde o verão foi mais fresco que o comum.

A má gestão florestal é apontada como uma das principais causas do aumento dos incêndios, pois permite a acumulação de uma grande quantidade de vegetação combustível no solo, mas o aquecimento global é também considerado uma importante causa deste fenómeno e as previsões para os próximos anos não apresentam cenários animadores, pois prevê-se, até ao final do século, diminuições entre 20 e 40% na precipitação e um aumento das temperaturas médias no Verão entre 3° e 7°C, com um aumento da frequência das ondas de calor ^[1].

3.2. CAUSAS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NACIONAIS

Como demonstrado anteriormente, os incêndios florestais de grandes dimensões são uma situação com que Portugal continental se depara frequentemente. Associado a este problema, existe um vasto conjunto de causas, com naturezas muito diversas, que vale a pena explorar.

“Se o desenvolvimento espontâneo do fogo, embora possível, é raro, o seu desencadeamento na sequência de trovoadas pode acontecer e o seu desencadeamento por ação humana, criminosa ou não, é frequente” [42].

Os fogos florestais estão mais relacionados com o meio geográfico e com as alterações que nele se verificaram nas últimas décadas, onde o homem exerce as suas influências, do que com o meio ambiente, que sofre sobretudo com os impactes causados pelos incêndios [50]. Tal como sucede nos restantes países mediterrânicos, não sendo Portugal exceção, a grande maioria dos incêndios florestais têm a sua origem no Homem [7]. As causas de origem natural correspondem a descargas elétricas provocadas por “trovoadas secas”, que ocorrem nos meses de verão, representam uma pequena percentagem do número total de ocorrências. Entre 1996 e 2000, catalogava-se as causas de ignição em quatro categorias: negligente, intencional, natural e desconhecida. A partir do ano de 2001, procurou atribuir-se maior precisão à identificação das causas, com uma distinção entre seis possíveis categorias de causa: uso do fogo (queima de lixo, queimadas, lançamento de foguetes, fumar, apicultura e chaminés), acidental (transportes e comunicações, maquinaria e equipamento e outras causas acidentais), estrutural (caça e vida selvagem, uso do solo, defesa contra incêndios e outras causas estruturais), incendiarismo (inimputáveis e imputáveis), natural (raios) e indeterminada [7].

O comportamento dos incêndios florestais está relacionado com três fatores distintos – as condições meteorológicas, o combustível e a topografia – de acordo com os quais resultam diferentes dinâmicas de incêndio [7].

Após a ignição, não é garantido que o fogo se propague, pois isso depende de condições meteorológicas (direção e intensidade do vento, humidade relativa do ar e temperatura), do solo (grau de secura e tipo de coberto vegetal), orografia do terreno, acessibilidade aos locais de incêndio, tempo de alerta e primeira intervenção no ataque ao fogo. O desenvolvimento dos fogos florestais prende-se ainda com os combustíveis (volumes disponíveis, concentração, distribuição e características) e das propriedades dos povoamentos florestais (composição e dimensão), factos que resultam muitas vezes da natureza e das características do próprio solo. Um incêndio pode propagar-se pela superfície do terreno, pelas copas das árvores e através de manta morta – camada formada pela deposição e acumulação de matéria orgânica morta em diversos estágios de decomposição.

As condições meteorológicas constituem um fator muito importante no que diz respeito aos incêndios florestais, tornando sazonal a sua ocorrência. O maior número de incêndios florestais ocorre maioritariamente entre Junho e início de Outubro. No Inverno, o número de ocorrências verificadas e área ardida não é muito significativo, quando comparado ao resto do ano. Quanto maior for a humidade do material vegetal, menor é a probabilidade de este entrar em combustão. Temperaturas elevadas

tornam os combustíveis mais secos e consequentemente mais suscetíveis de entrarem em combustão. O vento é um fator muito importante pois para além de arrastar centelhas que podem dar origem a novos focos de incêndio é ainda o responsável pela inclinação das chamas sobre outros combustíveis e ainda oxigena a combustão e intensifica a queima.

O pinheiro bravo, espécie dominante do território florestal nacional, reúne as condições ideais para deflagração de grandes incêndios, pois encontra-se associado a vegetação arbustiva com grande combustibilidade. O eucalipto é uma espécie bastante combustível, no entanto, encontra-se comumente em zonas onde a extração de mato é frequente, pelo que não se têm verificado grandes taxas de destruição pelos incêndios. Os sobreiros e as azinheiras são árvores resistentes ao fogo, funcionando a cortiça como autodefesa face a elevadas temperaturas.

Um incêndio pode ter causa desconhecida por dois motivos: falta de investigação ou impossibilidade de determinação da causa por falta de provas materiais/pessoais.

O fogo é parte integrante dos ecossistemas florestais, principalmente na região mediterrânica, onde se registam as maiores extensões de área ardida. No entanto, os graves incêndios ocorridos nos últimos anos levaram o Governo a alterar as estruturas ligadas à prevenção e proteção da floresta, traçando grandes objetivos estratégicos, com a criação do Plano Nacional de Defesa Contra Incêndios. Para a redução da incidência dos incêndios florestais, um dos objetivos definidos pelo dito plano é o melhoramento do conhecimento das causas dos incêndios e as suas motivações, reforçando a capacidade de fiscalização e de investigação por parte dos órgãos policiais, nomeadamente do Corpo Nacional da Guarda-Florestal (CNGF), serviço desconcentrado da Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF) enquanto órgão de polícia criminal ^[44].

Apesar do tipo de clima característico do mediterrâneo, que tanto contribui para a problemática dos incêndios florestais, sabe-se que não é ele o único responsável pelas recorrentes ocorrências graves. Uma vez que a principal causa dos incêndios florestais é de origem antrópica, é necessário agir no sentido da prevenção, através de ações de sensibilização, fiscalização e produção de legislação apropriada, pois o contributo da sociedade é essencial para minimizar este problema. Para que se possa intervir e travar a problemática dos incêndios florestais é essencial aumentar o conhecimento no que diz respeito à determinação de causas e definir políticas específicas de intervenção.

3.3. ASPETOS SOCIOECONÓMICOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NACIONAIS

O fenómeno dos incêndios florestais nas regiões mediterrâneas tem sido estudado sob diversas perspetivas. Em Portugal, a atenção remete-se para os estudos de prevenção e de combate a

incêndios florestais, verificando-se uma preocupação menor no que diz respeito aos efeitos dos fogos em aspetos de natureza social, económica e cultural. Como se constatou, a principal causa de incêndios florestais em Portugal está relacionada com intervenção humana, pelo que se torna interessante refletir acerca desse facto numa perspetiva social, económica e cultural.

Admite-se que alterações na estrutura socioeconómica das populações de meios rurais possam ser uma causa indireta do crescente número de fogos florestais que se tem verificado, uma vez que o desenvolvimento industrial levou a que se verificasse o chamado êxodo rural, pois a população quis abandonar as condições precárias em que vivia, rumando aos centros urbanos, abandonando campos que naturalmente passaram a ter condições bastante favoráveis à propagação do fogo [45]. A diminuição da população nas áreas florestais e o seu rápido envelhecimento constituem um fator de risco de incêndio [46], que aparece associado à falta de cuidado dos proprietários florestais, refletindo-se esse facto na falta de limpeza das matas, o que facilitará em muito a propagação do fogo. Para além disso, a ausência de população atrasa o alerta de deflagração do fogo. O abandono de práticas culturais tradicionais de uso dos terrenos, a diminuição da utilização da lenha e do carvão como base energética e como combustíveis e dos estrumes animais como fertilizantes, resultou numa grande acumulação de biomassa e material combustível nas matas, contribuindo também para o aumento do risco de incêndio [27, 29]. O desenvolvimento da rede viária também contribuiu para o aumento da área ardida, pois esta permite o acesso aos espaços florestais [53], que, com mais frequência, passaram a ser usados como espaços de lazer por parte dos cidadãos, aumentando a pressão do meio urbano e agrícola sobre a floresta, verificando-se queimadas de resíduos agrícolas, renovação de pastagens, aumento da utilização da floresta como espaço recreativo e de lazer por caçadores e caminhantes, cuja negligência e alguns comportamentos de risco, como os cigarros mal apagados e as fogueiras, constitui um risco para as florestas. Todos estes factos introduziram alterações na economia tradicional, que assentava essencialmente na agricultura, pastorícia e floresta.

Os efeitos mais evidentes dos incêndios são, normalmente, de ordem económica, pois os prejuízos causados dividem-se por várias áreas de intervenção, sendo, no entanto, difícil contabilizar com rigor o valor económico das áreas florestais como suporte fundamental à manutenção de vidas animais e do solo, das zonas agrícolas e apícolas afetadas [47]. A dilapidação do património natural e construído também é uma consequência dos incêndios florestais, tendo um peso económico considerável. Constituindo as florestas áreas de lazer, os incêndios florestais destroem não só património natural mas também património social e cultural, pois as árvores ardidas deixam de ser lugares privilegiados de lazer.

A prevenção contra incêndios implica verbas significativas que os pequenos proprietários muitas vezes não conseguem suportar, pois são inferiores aos ganhos retirados de eventuais vendas de produtos florestais. Este motivo reduz a motivação dos proprietários para manter seguras as suas propriedades, optando por deixá-las ao abandono. Este é um dos motivos que deu origem às chamadas Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), que voltarão a ser abordadas no Capítulo 4.

“O êxodo rural, com o abandono das práticas agroflorestais tradicionais, associado às opções de reflorestação tomadas ao longo do tempo, que consubstanciaram o coberto florestal que caracteriza hoje o nosso território, com uma aposta, inicialmente em monoculturas de pinheiro-bravo e mais recentemente com a expansão massiva dos eucaliptais, vieram aumentar substancialmente o risco e propagação de incêndios” [55].

Os incêndios florestais tornaram-se no maior problema da floresta portuguesa, impedindo o seu desenvolvimento, sendo transversal a toda a sociedade de um modo geral, apontando-se como uma das maiores dificuldades na resolução deste problema o facto dos cidadãos se assumirem sobretudo como espectadores e não como protagonistas dos incêndios florestais [29]. Caso se mantenha o ritmo atual dos fogos, a floresta está condenada, pois a destruição é muito superior à capacidade de regeneração das árvores.

3.4. IMPACTE DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NACIONAIS

Os incêndios florestais de grandes dimensões são cada vez mais frequentes em diversas regiões do planeta mas, em particular, nas regiões bioclimáticas do mediterrâneo, caracterizadas por estações simultaneamente secas e quentes [48]. O aumento da gravidade e intensidade dos incêndios florestais resulta de uma maior duração da referida estação seca e das altas temperaturas alcançadas no Verão, ficando a vegetação num adiantado processo de dessecação e tornando fácil a ignição dos fogos. Os incêndios florestais marcam e alteram de forma profunda a paisagem por onde se desenvolvem e alastram mas, para além do extenso rasto de áreas ardidas, os incêndios florestais catastróficos têm causado um número relevante de vítimas humanas [7].

Apontam-se como algumas consequências dos incêndios a alteração do meio natural, as emissões de gases e partículas, morte e ferimentos de pessoas e animais, destruição de infraestruturas e bens e interrupção de vias de comunicação.

Para além do impacto económico e social causado pelos incêndios florestais, existem outras implicações que podem ser de grande gravidade, nomeadamente ao nível da proteção dos solos, dos recursos hídricos, da poluição atmosférica e da biodiversidade [53].

Os incêndios florestais interferem com o equilíbrio ecológico dos ecossistemas por diversos motivos: conduzem à deflorestação, incentivam a substituição das espécies de crescimento lento por outras de desenvolvimento mais rápido, possibilitam o uso de técnicas de mobilização superficial dos solos, com o objetivo de reflorestar áreas ardidas mas que muitas vezes não se adequam ao tipo de solo e ao declive da vertente.

Os diversos impactes ambientais dependem de características associadas ao próprio incêndio, como a sua dimensão, a intensidade do fogo, a época do ano em que ocorreu, a duração e a frequência de ocorrência em determinada região ^[49].

Durante a deflagração do incêndio podem ser identificados alguns impactes ambientais, chamados de imediatos, o que significa que são produzidos durante o período de tempo em que o incêndio se propaga. No entanto, as consequências dos incêndios florestais vão muito para além do que acontece antes das chamas se apagarem e, muitas vezes, os efeitos desta catástrofe fazem-se sentir durante longos períodos de tempo após o incêndio e são chamados efeitos subsequentes.

Os efeitos imediatos do fogo têm importância económica, social e até ecológica, mas são considerados momentâneos, motivo pelo qual os efeitos subsequentes ao fogo são tidos como bastante merecedores de atenção, principalmente do ponto de vista ambiental. Como os efeitos subsequentes ao fogo são aqueles que mais modificam a paisagem, que mais tempo demoram a regressar à situação inicial e que se podem fazer sentir nas áreas afetadas pelas chamas muitos anos após a ocorrência, do ponto de vista ambiental consideram-se tão ou mais importantes que os efeitos imediatos ^[50].

Existe uma grande variedade de efeitos imediatos, destacando-se como mais importantes: a combustão de enormes volumes de materiais lenhosos e vegetais, a formação de densas colunas de fumo, as consequências para as árvores e vegetação arbustiva e herbácea, as alterações sofridas por parte de organismos vivos e as consequências para o próprio solo.

Como efeitos subsequentes ao fogo destacam-se mais uma vez as consequências para as árvores, que ficam mais suscetíveis a pragas e doenças, a necessidade de reflorestação, que nem sempre é feita corretamente, alterando as espécies, a alteração das pastagens, os efeitos na macrofauna do solo, com a redução ou desaparecimento de algumas espécies e aumento ou aparecimento de outras espécies invasivas, as mudanças no microclima florestal e a intensificação da meteorização dos solos.

Uma vez que os fogos florestais estão relacionados com o meio geográfico, também nele se fazem sentir os seus efeitos. Os incêndios florestais degradam o meio geográfico, diminuindo a qualidade de vida. Dado que o meio geográfico e as alterações nele provocadas são uma das causas dos incêndios florestais, cujas consequências produzem novas alterações no meio e aceleraram essas alterações,

mais ocorrências irão surgir por culpa destas novas alterações. Esta relação causa-efeito é quase um ciclo vicioso cuja necessidade de ser travado é essencial [50].

Os impactes dos incêndios florestais contribuem de forma significativa para a desertificação. A identificação das suas consequências na estrutura e funcionamento dos ecossistemas permite avaliar a necessidade de serem implementadas medidas para a restauração dos mesmos [31].

3.4.1. No ar

“O papel relevante da floresta na regulação planetária do clima é, hoje um dado adquirido, todavia a economia internacional faz por ignorá-lo e, por isso, continua, leviana e sistematicamente, a desmontar um dos mais delicados mecanismos de proteção da vida que a Terra levou muitos milhões de anos a construir” [51].

Os incêndios florestais aumentam a poluição atmosférica, pelos gases e partículas emitidos.

As florestas retêm, na biomassa perene e no solo, carbono que, de outro modo, existiria na atmosfera [1]. O papel desempenhado pela floresta no sequestro do carbono é, então, muito importante, pois contraria o aumento da concentração de gases com efeito de estufa [1, 2]. No processo de fotossíntese, o CO₂ é integrado na biomassa das plantas enquanto o O₂ é libertado. Quando incorporado na biomassa florestal, o carbono apresenta tempos de residência elevados, comparativamente a outros reservatórios [14, 53]. A Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE) é o saldo anual da fotossíntese descontada a respiração do ecossistema. O sequestro de carbono no ecossistema varia com o clima, com a vegetação e com a intervenção humana [1]. Ao nível do território nacional, o regime de fogos florestais e a colheita precoce do material lenhoso reduz consideravelmente a capacidade de sequestro de carbono característica dos ecossistemas florestais [1]. O sequestro de carbono nas florestas tem limites ecológicos e as alterações climáticas, ao fazerem variar o padrão geográfico da PLE, provocarão um aumento considerável do risco de incêndio, que diminuirá a capacidade das florestas de sequestrar carbono.

A combustão da biomassa leva à libertação do carbono sob duas formas: monóxido de carbono e dióxido de carbono. Durante os incêndios, também se liberta dióxido de enxofre, SO₂, e compostos azotados, NO_x. Os efeitos tóxicos destes compostos fazem sentir-se principalmente nas plantas. Devido à oxidação incompleta da matéria orgânica durante os incêndios, também ocorre a emissão de metano.

Uma vez que nos últimos anos os incêndios florestais têm sido frequentes e por vezes de grandes dimensões, a quantidade de compostos orgânicos voláteis e partículas/poeiras no ar tem aumentado. Ao contrário do SO₂ e dos NO_x, este tipo de poluição atmosférica tem consequências consideráveis para as populações, causando doenças respiratórias e irritações oculares [52].

3.4.2. Na biodiversidade

O fogo desempenha um papel importante na forma como a vegetação e a paisagem se desenvolvem e apresentam [52]. O fenómeno dos incêndios florestais é uma das principais causas de perda de biodiversidade, devido ao grande aumento da sua frequência. No entanto, é inegável a importância deste elemento no ciclo natural das florestas, pois quando o mesmo acontecia de forma natural contribuía para o equilíbrio do ecossistema evitando catástrofes de maiores dimensões, uma vez que eliminava eventuais excessos de combustível [53].

Como já foi referido, as espécies vegetais que fazem parte do Mediterrâneo encontram-se bem adaptadas ao fogo e regeneram após o incêndio [31]. Ecossistemas onde esta regeneração se verifica oferecem uma proteção maior à erosão e à degradação do solo [31]. As espécies exóticas não se desenvolvem em terrenos queimados mas, em oposição, as consequências dos incêndios florestais não são significativas nas espécies mediterrânicas raras, sendo até benéficos em algumas situações, quando não acompanhadas de outras perturbações [31]. Os incêndios favorecem as ervas perenes com sistemas radiculares extensos que sobrevivem ao fogo, pois após a área ardia as raízes emitem rebentos que rapidamente repovoam a área [53].

Antigamente eram feitas queimadas com o objetivo de regenerar campos para agricultura e pastagens para o gado, pelo que bosques e os matos recentemente queimados normalmente desenvolvem pastagens com qualidade e criam um bom habitat para herbívoros, aumenta o potencial cinegético [31].

As consequências dos incêndios na fauna são muito variáveis pois dependem do tamanho e mobilidade da mesma [53].

Os incêndios florestais por vezes são responsáveis pela destruição total ou parcial de habitats, provocando a perda de biodiversidade através da redução do tamanho da população e modificações introduzidas nos padrões e taxas de dispersão e migração. Em situações mais extremas pode mesmo verificar-se a extinção de espécies [52, 53].

À passagem do fogo, as árvores ficam debilitadas e mais suscetíveis de serem atingidas por pragas e doenças, sendo mais tarde cortadas e alterando, desta forma, a paisagem. A inexistência de vegetação

provoca alterações temporárias do clima junto ao solo, acentuando as amplitudes dos valores da temperatura e humidade relativa do ar ^[50]. Este facto tem consequências sobre a fauna, levando a uma alteração da macrofauna do solo: ocorre a redução temporária de certas espécies (lesmas, caracóis, minhocas, aranhas, etc.) e o aumento temporário de outras (formigas, gafanhotos, etc.) ^[50]. Verifica-se ainda alterações na relação presa-predador, o aumento de aves que vivem no chão, como as perdizes, e de mamíferos como coelhos, lebres e raposas, em oposição à diminuição de aves que vivem na copa das árvores ^[50]. A atividade dos animais pode ser drasticamente reduzida após a passagem do fogo, sendo os répteis o grupo mais afetado ^[31].

A frequência dos incêndios florestais prejudica o desenvolvimento das espécies de crescimento lento, impedindo-as de atingir a maturidade reprodutiva ^[53]. A reflorestação que é feita após os incêndios florestais, por ser feita a pensar em fatores económicos, nem sempre é mais correta, como será explicado no Capítulo 4. A expansão de eucalipto originou espaços florestais onde pouca ou nenhuma fauna e flora se desenvolvem ^[53].

3.4.3. No solo

Um incêndio florestal pode ter consequências devastadoras no solo ^[53]. Os incêndios, ao mesmo tempo que modificam a paisagem tornando-a mais homogénea, modificam também a cobertura dos solos, afetando a interceção das gotas de água, a evapotranspiração e a infiltração das chuvas, os fluxos de água, sedimentos e nutrientes sofrem alterações e acontece uma redistribuição das partículas do solo nas vertentes ^[31]. O risco de inundação e sedimentação é muito maior nas bacias hidrográficas afetadas pelo fogo nos dois anos que se seguem a um incêndio, comparativamente ao verificado em bacias hidrográficas não queimadas ^[31]. As consequências desse facto verificam-se também fora das áreas afetadas, provocando deslizamento de terras e danos em infraestruturas e populações ^[31]. Uma área devastada por um incêndio florestal torna-se mais vulnerável a fenómenos de erosão e transporte provocados pelas águas pluviais, reduzindo-se também a sua permeabilidade ^[54].

3.4.4. Na água

A floresta contribui para o equilíbrio hidrológico, desempenhando um papel importante nesse ciclo: as árvores retiram do solo a água que necessitam, por absorção, e devolvem-na à atmosfera, mais tarde, por transpiração e evaporação ^[53]. Mantem-se, assim, o equilíbrio entre as reservas de água no subsolo, a quantidade de água que é a quantidade de água absorvida e evapotranspirada e a precipitação ^[53].

As áreas ardidas sofrem alterações ao nível das suas características hidrológicas, ao nível de corrente e em épocas de cheia [53, 54].

Em áreas desflorestadas ou ardidas, o equilíbrio deixa de existir, a água que seria retida pela vegetação passa a constituir o escoamento superficial, aumenta os níveis freáticos e favorece a ocorrência de cheias, que passam a ocorrer com mais frequência e maior magnitude [53, 54].

Os sedimentos que se soltam nas encostas dirigem-se para os cursos de água, alterando negativamente a sua qualidade e interferindo com os ecossistemas aquáticos [53]. Os sedimentos, para além de constituírem uma parte importante do total dos poluentes de um curso de água, alteram a condutividade, o pH e a transparência da água, um fator limitante para alguns organismos, nomeadamente em cursos de água de montanha [53, 54]. A carga orgânica transportada pelos sedimentos pode ter um efeito nefasto na qualidade das águas de consumo [55].

3.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIOS, VIGILÂNCIA E DETECÇÃO

“A proteção das florestas contra o fogo começa com a prevenção. A melhor maneira de combater um incêndio é evitar que ele ocorra. Considerando que a grande maioria dos incêndios florestais são provocados por ação antrópica, eles são, em sua maior parte, teoricamente evitáveis”

O papel da floresta é semelhante em todos os países: oferecem paisagens e recursos para diversas atividades culturais, purificam a água, estabilizam os nutrientes do solo, regularizam os ciclos biogeoquímicos, armazenam carbono, são habitats para a vida selvagem e possuem uma imensa diversidade biológica. A nível económico, contribuem para a riqueza dos países através da quantidade de postos de trabalho que criam e por sustentarem a indústria de produtos florestais. O que difere de país para país é, então, a forma como cada um trata este bem tão precioso, pelo que apresenta-se relevante explorar um pouco o assunto.

As alterações que a floresta tem sofrido nas últimas décadas, em função do clima e das atividades humanas, potencia o risco de catástrofes ecológicas, como o são os grandes incêndios florestais. A urgência de resolver problemas relacionados com as questões ambientais culmina na noção de que é urgente agir no sentido de reduzir os riscos. Para parar a proliferação da catástrofe é necessário implementar medidas preventivas, orientadas para a utilização sustentável dos ecossistemas.

O combate a incêndios florestais tem custos elevados, implica diversos recursos humanos e materiais, como as viaturas, ferramentas de combate e equipamentos de proteção individual. Por outro lado, a prevenção contra incêndios tem custos muito menores, para além de minimizar as consequências.

A população apresenta uma responsabilidade acrescida no desenvolvimento e realização de ações preventivas contra incêndios, pois a primeira preocupação após a ignição é a proteção de pessoas e bens, pelo que proprietários, arrendatários, usufrutuários ou entidades que, a qualquer título, detenham terrenos confinantes a edificações, estaleiros, armazéns, oficinas, fábricas ou outros equipamentos, de acordo com Decreto-lei 17/2009, devem proceder à gestão de combustível numa faixa, de pelo menos 50 metros à volta dessas edificações ou instalações.

O elevado número de ocorrências que se tem verificado nos últimos anos, tornou crucial a necessidade de se atuar ao nível da prevenção, definida como *“o conjunto das atividades que tem por objetivos reduzir ou anular a possibilidade de se iniciar um incêndio, diminuir a sua capacidade de desenvolvimento e mitigar os efeitos indesejáveis que o incêndio pode originar, ou seja, que atua em duas vertentes principais, controlo das ignições e controlo da propagação”*.

Os incêndios florestais, pela relevância que apresentam no equilíbrio dos ecossistemas e da paisagem, são um dos grandes desafios do ordenamento do território ^[56]. Apesar de este estudo não abordar o tema, importa referir que a solução estrutural para esta problemática passa também por isso, tendo em conta não só dinâmicas sociodemográficas, económicas e culturais, mas, mais ainda, a compreensão do relevo, as características climáticas, hidrológicas e biogeográficas das regiões ^[43, 57].

3.5.1. Portugal

O aumento da frequência e intensidade dos incêndios florestais em território nacional nas últimas décadas levou a que, em 2006, fosse publicado o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI). Os grandes objetivos estratégicos do PNDFCI são: redução da área ardida, em termos de superfície florestal, para valores equiparáveis à média dos países da bacia mediterrânica, a eliminação dos grandes incêndios, a redução o número de incêndios com área superior a 1 ha e a redução do número de reacendimentos. Para cumprir os objetivos e alcançar as metas do PNDFCI, as intervenções são feitas em três domínios considerados prioritários: prevenção estrutural, vigilância e combate ^[44].

Uma vez que, como já referido outrora, a principal causa dos incêndios é o próprio ser humano, é fulcral agir para tentar alterar comportamentos da sociedade no que ao uso do fogo diz respeito. É neste sentido que o PNDFCI define como objetivo a sensibilização das populações, a necessidade de se aumentar a investigação das causas dos incêndios e respetivas motivações e, por último, aumentar a capacidade de dissuasão e fiscalização ^[44].

No âmbito do PNDFCI, são diversos os sistemas de vigilância e deteção existentes em território nacional, que se encontram organizadas do seguinte modo ^[58]:

- Vigilância terrestre
 - Fixa
 - Tradicional – Rede Nacional de Postos de Vigia (RNPV)
 - Por sensores – de forma manual ou automática
 - Móvel
- Vigilância aérea
 - Aeronaves
 - Vigilância armada
 - Vigilância por aeronaves
 - Satélites
- Vigilância passiva
 - Populares
 - Deteção accidental por aeronaves comerciais

A Rede Nacional de Postos de Vigia é um dos sistemas oficiais mais importante na deteção de incêndios. Fazem parte da rede 231 postos, concentrados nas regiões Norte e Centro do país, que, no verão de 2013, empregavam 924 vigilantes, representando um investimento de 3,1 milhões de euros em contratações ^[58, 59].

Quando um vigilante deteta uma ignição e dá o alerta, a informação é cruzada com dados de outra torre de vigia e o foco de incêndio é localizado pelo método de triangulação, pelo que a informação não é tão precisa quanto seria ideal. Como se encontra referido no caderno relativo à pré-supressão, do PNDFCI, as radiocomunicações são feitas com bastante dificuldade, sendo que em alguns nem sequer existe ^[58]. Os níveis de deteção através deste meio são reduzidos, sendo que muitas vezes o alerta é dado pela chamada vigilância passiva, ou seja, por populares através do 112, o número europeu de emergência, ou do 117, número para alerta de incêndios florestais, que apesar de também ser gratuito, é menos conhecido.

Para além do já referido problema de comunicação, outros defeitos são apontados à RNPV: um dos grandes problemas deste sistema de deteção de incêndios é os recursos humanos que implica, pois não existem técnicos especializados no assunto e as pessoas são contratadas sem critério específico; a deteção durante a noite é significativamente baixa; o sistema apenas funciona durante o período de risco elevado, sendo que nos restantes meses do ano a rede não é, nem sequer parcialmente, ativada.

A vigilância terrestre móvel funciona como um complemento à RNPV ^[58]. É feita durante as épocas do ano consideradas críticas pelas equipas de sapadores florestais e da GNR ^[60].

Os sistemas de deteção e monitorização, por câmaras e/ou sensores, são sistemas que permitem, de forma remota, vigiar áreas florestais, detetar incêndios e acompanhar o desenvolvimento dos mesmos. Este tópico será abordado de forma mais específica mais à frente, no subcapítulo 3.6, referente aos sistemas de monitorização.

3.5.2. Outros países

3.5.2.1. Canadá

No Canadá, cerca de 400 milhões de hectares são espaços florestais, o que corresponde a cerca de metade da área total do país e a cerca de 10% das florestas do mundo ^[61]. Estima-se que nos últimos 25 anos, a cada ano tenham ocorrido cerca de 8 300 mil incêndios florestais, correspondendo, em média, a 2,3 milhões de hectares consumidos por ano. Apesar da quantidade de incêndios com área superior a 200 ha corresponder apenas a 3% de todos os incêndios florestais, são esses os responsáveis por 97% da área queimada em todo o país ^[61]. A época de incêndios estende-se de Abril a Outubro, sendo que o período mais crítico coincide com períodos de seca, entre Maio e Agosto. As principais causas de ignição são motivos naturais ou negligência ^[61].

O investimento que o Canadá tem efetuado na investigação de incêndios florestais enquanto fenómeno físico, biológico e socioeconómico, tem permitido aumentar a compreensão sobre o comportamento do fogo. Foram desenvolvidas diversas ferramentas que permitem avaliar os riscos de incêndio. O principal sistema usado tem o nome de Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS), a que se encontram associadas as seguintes ferramentas: Canadian Forest Fire Weather Index System (FWI), Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System e Canadian Fire Effects Model (CanFIRE) ^[61]. A primeira ferramenta corresponde a um sistema utilizado em todo o território canadiano, que avalia dia-a-dia as mudanças do risco de incêndio; a segunda ferramenta prevê o comportamento do fogo, ou seja, a intensidade e taxa de propagação do fogo e o consumo de combustível, para uma diversidade de tipos de combustível florestal existente no país; a última ferramenta analisa os efeitos do fogo ^[75]. O Canadá possui ainda outro sistema, intitulado Fire Monitoring, Accounting and Reporting System (FireMARS), que a partir de dados de satélite cria mapas da área queimada anualmente, contribuindo para o banco de dados nacional (Canadian National Fire Database - CNFDB) e para o cálculo das emissões de gases efeito de estufa realizado pelo Canada's National Forest Carbon Monitoring, Accounting and Reporting System (NFCMARS) ^[61].

Tal como em Portugal, também no Canadá a interface urbano-florestal é um problema, sendo uma prioridade para as autoridades canadianas fazer com que as populações compreendam o risco da exposição a que se sujeitam, ensinando-os como podem ajudar a prevenir tanto a ignição como a propagação de incêndios. O programa FireSmart pretende ajudar as comunidades nisso mesmo, fornecendo aos proprietários ferramentas que garantam a segurança pública, protegendo estruturas e reduzindo possíveis custos de evacuação e combate ^[61].

3.5.2.2. Estados Unidos da América

Os Estados Unidos da América têm 33% do seu território coberto por povoamentos florestais ^[62]. Devido à extensão do país, em qualquer altura do ano, existe sempre uma região que se encontra no pico da época de incêndios, cujas causas são 90% antrópicas.

No período de 2010 a 2013, registou-se uma média de 54 788 ocorrências por ano, com um total de área ardida anual médio de 2 478 936 hectares ^[63].

Nos EUA, o Conselho Executivo de Fogos Florestais (WFEC, do inglês *Wildland Fire Executive Council*), divide o país em três zonas distintas, de acordo com a sua localização geográfica e características, para facilitar as estratégias adotadas para enfrentar o problema. Na Figura 3.4 é possível observar-se as regiões definidas pelo WFEC: Oeste, a vermelho, Nordeste, a amarelo, e Sudeste, a verde.



Figura 3.4 - Regiões definidas pelo WFEC ^[64].

Todos os anos a região oeste, onde se inclui o estado da Califórnia, sofre em larga escala com os incêndios florestais. Em média, ocorrem anualmente 5 600 incêndios florestais e ardem 172 mil hectares ^[65]. Por este motivo, diversos projetos têm vindo a ser desenvolvidos com o objetivo de proteger as comunidades em risco, reduzir a ameaça e intensidade do fogo e prever respostas eficazes e seguras ^[66].

Na Califórnia, o Departamento de Engenharia Florestal e Proteção contra Incêndios (CAL FIRE), dedica-se à gestão e proteção de cerca de 31 milhões de hectares de espaços florestais privados, tendo a prevenção como prioridade. Através de contratos com os governos locais, o departamento engloba 36 dos 58 municípios do Estado [65]. A gestão e proteção dos recursos naturais é conseguida através da aplicação das normas de prática florestal da Califórnia e planos de colheita de madeira. Silvicultores e bombeiros colaboram no sentido de implementar projetos que visem a gestão de combustível nas florestas, diminuindo assim o risco e a gravidade dos incêndios. O programa de prevenção contra incêndios florestais do departamento engloba ainda ações de planeamento do fogo, que visam a educação da sociedade e aplicação da lei [65].

O *Active Fire Mapping Program* é um programa de monitoramento gerido pelos serviços florestais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, do inglês U.S. *Department of Agriculture*), baseado deteção remota por satélites. O programa, ao permitir um monitoramento contínuo, possibilita a deteção precoce de incêndios florestais. Os dados de imagem fornecidos pelos satélites MODIS, VIIRS, AVHRR e GOES, da NASA, são cruzados com outras informações fornecidas por outras agências de gestão do fogo, resultando num conjunto de dados geoespaciais que permitem uma avaliação precisa da atividade do fogo, da sua intensidade, da extensão de área queimada e das condições do fumo. O conjunto de dados inclui coordenadas geográficas, imagens multiespectrais e produtos analíticos [67].

3.5.2.3. Chile

No Chile, as florestas cobrem aproximadamente 15 milhões de ha. No período 2012-2013, registaram-se 5 631 ocorrências e uma área total ardida igual a 16 874 ha, sendo que praticamente todos os incêndios são de origem humana [68].

A aposta do Chile no que diz respeito à prevenção dos incêndios florestais recai em ações e campanhas de consciencialização para promover a educação ambiental da sociedade, na gestão florestal através de silvicultura preventiva, uso de técnicas de fogo controlo, apelo ao cumprimento das normas legais, proteção das reservas naturais e ainda na investigação não só das causas e motivações dos incêndios florestais mas também de novos sistemas de monitorização e deteção [68].

Para deteção de incêndios florestais, o Chile dispõe de diversos meios. Os dois primeiros métodos, e também os mais básicos, são a chamada deteção móvel e deteção fixa, que corresponde a guardas que vigiam as florestas. Os primeiros deslocam-se numa viatura e os segundos trabalham em postos de vigia, localizados em pontos altos e estratégicos. Tal como em Portugal, a confiabilidade deste

método é afetada pelo facto de a observação não ser contínua e por haver sempre zonas sombra, ou seja, zonas que não se consegue alcançar com o olhar. A comunicação de eventuais alertas é feita via rádio, de forma fácil e estável. O terceiro método consiste em deteção por observação aérea, com o uso de aeronaves tripuladas por um piloto e um observador. Os custos são bastante elevados mas a quantidade de área observada por unidade de tempo é muito maior e as informações transmitidas também são mais precisas e em maior quantidade. O quarto sistema é composto por câmaras televisivas, que transmitem o sinal para um centro geral de coordenação, onde as imagens são exibidas e analisadas pelos operadores. As câmaras permitem uma observação de 360° e podem estar instaladas em torres localizadas em pontos altos e locais estratégicos, no exterior das aeronaves ou em *drones*. O quinto e último sistema usado pelas autoridades chilenas para deteção de incêndios florestais consiste no uso de imagens fornecidas por satélites de órbita baixa, como o satélite Aqua e o satélite Terra, da NASA [68].

3.5.2.4. Grécia

Cerca de 25% do território grego está ocupado por floresta, o que faz deste país o quarto maior na Europa, relativamente a recursos florestais. Como país mediterrânico que é, o seu clima é caracterizado por invernos frios e chuvosos em contraste com verões quentes e secos. A sua floresta apresenta uma grande biodiversidade e é bastante semelhante à que é possível encontrar em Portugal: para além da floresta natural, como os carvalhos, encontram-se ainda os pinheiros, os abetos e a faia.

À semelhança dos restantes países mediterrâneos, também a Grécia sofre, todos os anos, o flagelo dos incêndios florestais, maioritariamente causados por mão humana. Se para Portugal 2003 e 2005 foram anos extremamente críticos, 2007 foi-o para a Grécia. Arderam 97 518 ha de coberto vegetal natural e 78 mil ha de terras agrícola, com prejuízos económicos entre 3 e 5 biliões de €, para além do valor inestimável da perda de 76 vidas humanas [69].

O Observatório Nacional de Atenas (NOA, do inglês National Observatory of Athens) recebe continuamente dados que conjugados com outros aspetos como informações meteorológicas, acerca do uso do solo e limites administrativos, permitem detetar e monitorizar incêndios florestais. O trabalho desenvolvido pelo NOA neste campo foi reforçado pela integração de inovadoras tecnologias de informação, no âmbito do projeto TELEIOS – desenvolvimento de tecnologias que permitem o uso de satélites e dos dados geoespaciais para observação e análise da Terra, em tempo real, de forma contínua, e consequente deteção de incêndios florestais [69]. Todo o sistema funciona de forma automática: desde a recolha de imagens até à geração dos mapas que permitem localizar as ignições.

As informações são encaminhadas para as entidades responsáveis e para os serviços de emergência que atuam nestas situações.

3.5.2.5. Finlândia

Na Finlândia a floresta cobre 23 milhões de ha, o que corresponde a cerca de 74% da área total terrestre do país. Este é, portanto, o país mais densamente florestado da Europa. Crescem na Finlândia cerca de 20 espécies nativas, sendo as mais comuns os pinheiros e o abeto vermelho. Quase todos os povoamentos florestais são mistos. Aproximadamente 60% das florestas finlandesas encontram-se em posse de privados. Devido à localização geográfica do país, a Finlândia apresenta um clima extremamente diversificado. O norte, muito próximo do Ártico, fica coberto de neve durante 7 meses, enquanto no sul, a neve dura apenas entre 3 a 4 meses, os invernos são mais leves e os verões apresentam clima temperado, apesar de curtos. Na Finlândia as chuvas são pouco frequentes e pouco intensas, muitas vezes em forma de neve [70].

Apesar da elevada percentagem de floresta, os incêndios florestais não são considerados um problema na Finlândia. Entre 2001 e 2009 registou-se uma média anual de aproximadamente 1 500 ocorrências, cuja média de área ardida por incêndio não ultrapassa 0,4 ha. O total de área ardida foi de 643 ha, valor bastante inferior ao verificado na realidade portuguesa durante o mesmo período, 149 512 ha [70].

É inevitável questionar o motivo pelo qual a Finlândia, com uma densidade florestal tão elevada, apresenta valores tão baixos no que aos incêndios florestais diz respeito. Eis a resposta: para além do clima característico do país, das eficazes ações de silvicultura, do sistema de incêndios florestais ser muito eficiente... a sociedade respeita a floresta e os avisos que são feitos relativamente ao risco de incêndio.

O sistema de incêndios florestais finlandês compreende três áreas distintas, mas logicamente interligadas: prevenção, deteção precoce e rapidez no combate. Na área da prevenção, a Finlândia aposta na educação e no aconselhamento da sociedade, proíbe que se façam fogueiras a céu aberto e conta com o chamado “Forest Fire Index”. Este sistema usado pelo Instituto Meteorológico da Finlândia usa dados meteorológicos para estimar o índice de risco de incêndio. Caso o valor calculado seja superior a 4, o alerta é lançado. A deteção precoce de incêndios é feita por levantamentos aéreos e por satélites. Os levantamentos aéreos iniciam-se quando o índice de risco de incêndio ultrapassa o valor limite de 4 ou após tempestades, pois os raios são uma das principais causas de incêndios florestais no país. Os levantamentos aéreos são considerados um complemento ao sistema de satélites, pois permitem a observação de áreas remotas [70].

3.6. ESTADO DE ARTE DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO

Tradicionalmente, o controlo e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. Idealmente, o alerta de incêndio devia ser dado de forma autónoma, automática e sistemática. Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na deteção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe. Os sistemas visam, de forma geral, fornecer imagens e dados relativos aos incêndios para que as entidades responsáveis pelo combate às chamas partam para o terreno mais cedo, evitando a propagação do incêndio, e com mais informações acerca do que encontrarão.

Os sistemas de monitorização e deteção de incêndios florestais podem ser divididos em três categorias: sistemas baseados em processamento de imagem (imagens de satélite ou câmaras fixas), sistemas térmicos (sensores estáticos ou dinâmicos) e outras aplicações (radares, LIDAR e deteção de som) [6].

Todos os sistemas apresentam as suas vantagens e muitos estudos com sucesso têm sido feitos e publicados, mas as desvantagens também existem, pelo que muitas vezes, para um sistema se tornar aplicável a todas as situações, seria necessário combinar mais do que uma tecnologia para se obter resultados positivos.

Uma vez que é objetivo do trabalho o desenvolvimento de um sistema de deteção e monitorização de incêndios florestais apresenta-se relevante fazer um levantamento do que existe em Portugal e apresentar alguns estudos que têm sido feitos na área, com recurso a diferentes tipos de tecnologia.

3.6.1. Portugal

3.6.1.1. Projeto Águia - sistemas automáticos de deteção e monitorização de incêndios florestais

O Projeto Águia foi um projeto-piloto, financiado pela DGF, com verbas da comunidade Europeia, ao abrigo de um protocolo formal assinado entre a DGF e a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) em Janeiro de 2000 [71].

O objetivo do projeto era testar um sistema de deteção e monitorização de incêndios florestais, cujo funcionamento é baseado em tecnologias de captação, transmissão e processamento de sinais eletromagnéticos no espectro da luz visível e dos infravermelhos [72].

Entre 2000 e 2002 o sistema foi instalado nas localidades de Vila Nova de Poiares, Góis e Penacova. Em cada ponto escolhido, instalou-se uma câmara de filmar que fazia uma emissão direta das imagens, através de uma ligação a uma antena de telemóvel. Cada sistema abrangia uma área com raio de 20 km. As imagens eram enviadas para o Centro de Coordenação de Socorros de Poiares, que funcionava no edifício dos Bombeiros Voluntários locais, facilitando assim decisões no que à estratégia de combate diz respeito [72].

3.6.1.2. CICLOPE – Sistema Integrado de Videovigilância Florestal

O projeto CICLOPE surge com a necessidade de valorizar a RNPV, aumentando a sua eficácia, não pretendendo ser um sistema substituto dos postos de vigia mas sim um complemento a este tradicional método de vigilância e deteção. Existem, em Portugal continental, quatro áreas protegidas que dispõem de sistemas de videovigilância, são eles o Parque Natural da Arrábida, a Reserva Natural do Estuário do Sado, a Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende e o Parque Nacional da Serra da Estrela [73].

As características do CICLOPE, sistema de vigilância remota desenvolvido pelo INOV, permitem a monitorização remota de extensas áreas com um custo por hectare reduzido. O CICLOPE, cobria, em 2008, cerca de 1,3 milhões de ha de floresta [73].

As câmaras de vídeo do sistema podem funcionar na gama do visível, dos infravermelhos, e por LIDAR (do inglês *Light Detection And Ranging*), tecnologia ótica de deteção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter informações, como distâncias, relativamente a objetos distantes [10]. O equipamento instalado depende do fim a que se destina: vigilância florestal ou urbana, controlo de tráfego, deteção de incêndios florestais, etc. Para deteção automática de incêndios, é possível que uma câmara funcione na gama do visível e do infravermelho. O sistema CICLOPE é composto por estações remotas e dispõe de sistemas de comunicação e de fornecimento de energia completamente autónomos.

As câmaras de videovigilância que constituem o sistema são instaladas nas chamadas Torres de Vigilância e Aquisição de Dados (TVAD), Figura 3.5, onde são colhidos alguns dados, como imagens, informações meteorológicas e da qualidade do ar. As TVAD encontram-se ligadas, através de uma rede de comunicações, ao servidor CICLOPE, situado num centro de gestão e controlo. Os centros de gestão e controlo estão muitas vezes ligados aos Centros Distritais de Operações de Socorro (CDOS), facilitando e melhorando todo o processo de deteção e combate a incêndios. A rede de comunicações usadas no caso da deteção de incêndios florestais é uma rede de telecomunicações móveis: GSM,

TETRA ou CDMA. O facto de se usar uma rede de telecomunicações pode condicionar o sistema, pois nem sempre a cobertura de rede funciona, principalmente nas zonas remotas onde faz sentido instalar as TVAD ^[73].



Figura 3.5 – Exemplo de torre de controlo ^[73].

Para a deteção de incêndios florestais, são comumente usadas câmaras de infravermelho ou câmaras que funcionem na gama do visível e do infravermelho próximo. As câmaras de infravermelho apresentam um custo elevado, no entanto são imunes às condições atmosféricas, permitindo identificar a frente de chamas inclusive em condições de fraca visibilidade, como nas situações em que haja fumo. Apesar da sua eficácia na deteção precoce de zonas quentes, têm como desvantagem o facto de apenas funcionarem em linha de vista. As câmaras na gama do visível e do infravermelho apesar de apresentarem um custo bastante mais baixo, têm um alcance e eficácia menor, pois para além da probabilidade de lançarem falsos alarmes ser superior, são ainda suscetíveis a efeitos solares e atmosféricos, como a humidade, o fumo, partículas em suspensão. Apresentam a vantagem de funcionarem de dia e de noite, pois detetam tanto o fumo como as chamas.

O uso da tecnologia LIDAR, patenteada pelo INOV, imune à variação de fatores atmosféricos, permite a deteção de colunas de fumo e a localização das mesmas sem o recurso a métodos de triangulação. Apesar de ser uma solução com bastante potencial para a deteção de incêndios florestais pela sua eficácia diurna e noturna, apresenta um custo muito elevado ^[73].

3.6.1.3. Forest Fire Finder – FFF ou F3

A empresa NGNS – Ingenious Solutions, com a colaboração da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, desenvolveu o Forest Fire Finder, na Figura 3.6, um sistema considerado único e inovador que deteta e localiza fogos florestais permitindo um curto tempo de reação, cujo carácter autónomo e automático dispensa a observação humana. O índice de falsos alarmes é inferior a 1%. A empresa defende que o sistema apresenta vantagens na relação custo/benefício e que “A sua versatilidade permite a sua aplicação para a cobertura da área florestal de um país, na proteção de parques naturais numa determinada área, de áreas florestais municipais ou de produtores florestais privados, quer o terreno seja plano ou montanhoso.” [74].



Figura 3.6 – Forest Fire Finder [74].

O sistema pode funcionar isolado ou através de uma rede de torres. Com o uso de dois sistemas FFF o tempo máximo previsto para a deteção é de 5 minutos. O raio de ação de cada sistema é de 15 km, cobrindo uma área de 70 mil hectares, permitindo uma identificação precisa das coordenadas do incêndio, produzindo imagens do mesmo e recolhendo dados atmosféricos que permitem que as técnicas usadas no combate ao incêndio florestal sejam adaptadas às condições climatéricas no local. O princípio de funcionamento do FFF, esquematizado na Figura 3.7, baseia-se em espectrometria com deteção remota – um sistema de espectrometria ótica analisa quimicamente a atmosfera [74].



Figura 3.7 – Espectrometria com deteção remota [74].

A composição química da atmosfera faz variar a forma como a mesma absorve a luz solar pelo que o sistema analisa as características da atmosfera, emitindo um espectro, sendo capaz de reconhecer fumo orgânico e distingui-lo do fumo industrial, decidindo de forma automatizada se o alarme de incêndio deve ou não ser lançado [74].

Quando o alarme é lançado, o sistema envia para um posto de controlo as informações adicionais já referidas, como a localização precisa, os dados atmosféricos e a fotografia da deteção. O posto de controlo envia o alerta para o quartel ou viatura de bombeiros mais próximos, que por se encontrarem ligados a um dispositivo de orientação que lhes indica o caminho mais rápido para chegar ao incêndio apresentam uma maior eficácia e rapidez no combate às chamas. A localização da ignição é conseguida através do método da triangulação [74].

O sistema é constituído por uma unidade de observação que permite uma observação de 360° na horizontal e, na vertical, de -45° a 90°, constituída por um sensor ótico remoto de grande alcance, uma camara ótica de elevada resolução, sensores atmosféricos que monitorizam as condições atmosféricas do local (temperatura, humidade, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação). Esta unidade encontra-se ligada a uma unidade de controlo, que deve estar até 10 metros da unidade de observação, constituída por um espectrómetro ótico, um computador industrial, o *software* de deteção do FFF, um sistema inteligente de monitorização e controlo de avarias e anomalias, um sistema de controlo de dados atmosféricos, um sistema de controlo e manutenção de energia e um sistema redundante de comunicações com Modem SMS. O sistema de controlo funciona sobre uma plataforma web, sendo composto por um servidor que recebe as informações e controla as permissões dos utilizadores. Os diferentes componentes do sistema apresentam manutenção simples e são de substituição fácil, para que eventuais intervenções possam ser realizadas em tempos reduzidos [74].

O sistema deve ser colocado a uma altura ligeiramente superior à da copa das árvores, para permitir uma deteção tão rápida quanto possível, ou seja, mal o fumo passe para cima da copa das árvores [74].

O sistema pode funcionar em modo automático ou em modo manual. Em modo automático, quando é detetado fumo, é enviado um alerta SMS para as unidades móveis pré-selecionadas, indicando a localização. Em modo manual o sistema de controlo ligado a um servidor *online* emite um alarme, que o monitor verifica e, caso outra torre detete o mesmo e se confirme o incêndio, é enviado o alerta com a localização exata para a entidade a quem compete intervir [74].

É necessário uma estrutura robusta o suficiente para suportar o sistema, uma vez que a torre pesa 30 kg e o controlo 40 kg [74].

Segundo a NGNS, estima-se que 300 sistemas seriam suficientes para cobrir a totalidade do território nacional. Cada hectare protegido custa 1€ e o tempo de vida útil de cada sistema é de 5 anos. Com estes números, prevê-se uma poupança para o Estado de cerca de 50 milhões de € por ano, em recursos humanos, estruturas, meios aéreos e reflorestação – cada hectare ardido reflorestado custa cerca de três mil €. João Matos, um dos criadores do sistema, explica que *"Detetando e combatendo um incêndio numa fase inicial, a área ardida torna-se menor e os custos baixam. Se os homens chegarem lá 15 a 20 minutos depois do incêndio começar, é fácil para um carro de apoio dar conta da ocorrência e o problema é que isso não acontece: os incêndios não são detetados precocemente e tomam dimensões bastante grandes (...) Este sistema tem a vantagem de os bombeiros, mesmo antes de chegarem ao local, já saberem o que é que os espera. Vão preparados porque estão na posse de muitas informações importantes."* [74].



Figura 3.8 – Instalação do sistema no Parque Nacional Peneda-Gerês [74].

O sistema FFF instalado no Gerês (Figura 3.8) encontra-se em funcionamento. Cada vez que é detetado um incêndio, a mensagem é enviada para todos os elementos de comando das entidades responsáveis dos conselhos envolvidos, para o comandante nacional e os três adjuntos. No entanto, o Comando Distrital de Operações de Socorro de Viana do Castelo considera sistema demasiado sensível, alegando a emissão de uma quantidade considerável de falsos alarmes, pelo que as equipas nunca saem para o terreno sem antes a informação do sistema ser cruzada com outras informações, como as que são dadas pelos postos de vigia da RNPV [83].

3.6.1.4. FireTrack

Em 2011, a empresa MediaPrimer desenvolveu o sistema FireTrack, financiado com 400 mil € pelo Quadro de Referência Estratégico Nacional, o QREN. No projecto colaboraram ainda outras três entidades: ISA (Intelligent Sensing Anywhere), IPN (Instituto Pedro Nunes) e ADAI (Associação para o Desenvolvimento de Aerodinâmica Industrial). A empresa ISA desenvolveu a rede de sensores sem fios que monitoriza de forma contínua a temperatura do ar, o IPN desenvolveu a infra-estrutura tecnológica que permite a ligação entre a rede de sensores e o sistema de gestão central e a ADAI colaborou na realização de testes no terreno [75].

O sistema deteta fogos florestais e acompanha a sua evolução. Os sensores que o constituem funcionam num sistema de rede sem fios e lançam o alerta quando a temperatura é superior a 45 graus e pretendia-se que fossem capazes de ativar aspersores. A comunicação do alerta é feita por GSM (SMS), diretamente com os clientes do sistema [75].

Contactadas as empresas colaboradoras no projeto, apurou-se que apesar de concluído com sucesso, o sistema ainda não entrou no mercado. Os estudos continuam, no sentido de valorizar o produto.

3.6.2. Outros estudos e sistemas existentes

3.6.2.1. Detecção de incêndios florestais com recurso a RASS

Foi estudada a possibilidade de criar mapas térmicos através de RASS (do inglês, Radio Acoustic Sounding System), para a deteção precoce de incêndios. A motivação para este estudo é o facto de a técnica RASS ser muito sensível às mudanças de temperatura, podendo remotamente fornecer de forma mais precisa a medição da temperatura do ar do que outros sistemas referidos. Considera-se que o sistema, capaz de monitorizar de forma contínua e simultâneos vários intervalos com boa definição espacial e temporal, é uma solução mais eficiente e rentável economicamente do que uma rede de vários sensores estáticos [76].

As ondas acústicas são transmitidas para a atmosfera a cerca de metade do comprimento de onda do radar (de acordo com a condição de Bragg) e a velocidade pode ser detetada e calculada pelo efeito Doppler no recetor do radar [76].

O estudo propõe a utilização da técnica RASS para monitorizar, de forma contínua, temperaturas em áreas florestais. Este método tem ainda a vantagem de, uma vez que também permite a medição da velocidade do vento, serem fornecidas informações relativas à direção e velocidade de propagação do incêndio [76].

O sistema baseia-se na regra de que o ar quente sobe com uma velocidade superior, pelo que criando periodicamente um mapa térmico do ar acima da copa das árvores é possível identificar eficazmente variações bruscas de temperatura e, desta forma, detetar um possível incêndio florestal. A Figura 3.9 mostra o que os autores propõem para a infraestrutura do sistema que tem basicamente dois dispositivos: radares com torre de vigia de incêndio e fontes acústicas. As fontes acústicas geram ondas sonoras com uma certa frequência e o radar verifica continuamente essas mesmas ondas, identificando as variações de temperatura pretendidas. O *software* do radar estabelece a comunicação com a torre de vigia para lançar o alerta e permite, ainda, que os dados sejam armazenados. As fontes acústicas são colocadas em círculo, com um raio de 2 a 3 km e são feitos alguns testes para que mais tarde, na deteção, problemas como o eco sejam evitados [95]. Assim, as fontes acústicas são muitas vezes relocizadas até a "localização ótima" ser encontrada.

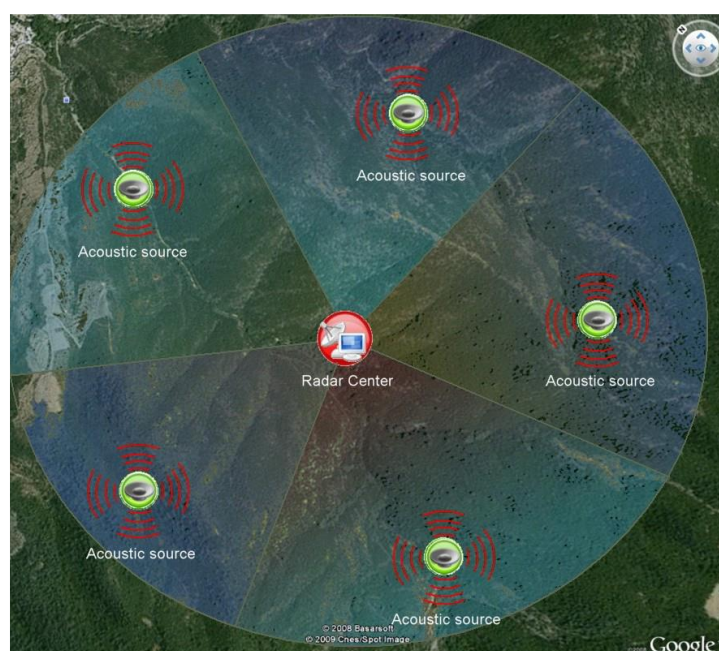


Figura 3.9 – Infraestrutura proposta para o sistema [76].

O sistema apresenta duas restrições: a área de deteção do radar e a frequência e nível das fontes acústicas. A área de deteção do radar deve ser restrita a um nível de altitude imediatamente acima da copa das árvores e a frequência e potência das fontes acústicas deve ser escolhida atendendo a alguns fatores, como a distância ao radar e a densidade florestal [76].

As simulações que foram feitas com este sistema mostraram que o mesmo não é adequado para incêndios que apenas afetem vegetação rasteira e não são detetados acima da copa das árvores. Para que o sistema passe a ser viável para a deteção de todo o tipo de incêndios e aumentar a sua eficácia geral, podem ser efetuados testes no sentido de o combinar com outras tecnologias, como LIDAR [76].

3.6.2.2. Detecção de incêndios florestais com recurso a processamento de imagens IV

Em 2013, a Universidade Técnica de Valência apresentou um estudo onde apresenta a possibilidade de usar um radar infravermelho para deteção de incêndios florestais. O sistema consiste numa rede de sensores sem fio, coordenados por uma estação central de monitoramento. Cada sensor é constituído por duas camaras (térmicas e visíveis), um motor com várias predefinições e um sistema integrado de captura, processamento e comunicação. Através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível localizar a posição exata de cada sensor, através da estação central. As imagens são capturadas em segundos e cada imagem de infravermelho é convertida numa matriz de *pixels*, sendo que cada um é associado a uma célula de resolução que corresponde a determinadas coordenadas geográficas e a um determinado azimuth. O processamento é realizado “pixel-a-pixel” para que se gere um mapa com vetores que descrevam a evolução temporal de cada célula de resolução [77].

Inicialmente, o motor é colocado na predefinição para ausência de fogo, que permite calibrar o sistema, para se calcular um modelo padrão, que depois é usado para gerar vetores. Nesta primeira situação, as imagens geradas são, idealmente, compostas apenas por ruído. No modo normal de funcionamento, as imagens de IV são capturadas e os vetores são gerados, compostos por sinal e ruído. Ao vetor obtido é subtraído o vetor previamente estimado, operação cujo resultado conterá apenas sinal [77].

Definiram-se quatro níveis de deteção de incêndio, que correspondem a diferentes tipos de resultados observados no mapa gerado e a diferentes tipos de alarme: alarme de nível de sinal; persistência no nível de sinal de alarme (verde nas figuras dos resultados); aumentar alarme (laranja); alarme de saturação térmica (vermelho) [77].

O primeiro alarme é gerado para se detetar qualquer variação ao nível de sinal. O segundo alarme acontece para que se possa observar a permanência e alteração do nível do sinal, no sentido de evitar falsos alarmes. O terceiro alarme é projetado para detetar a presença de tendências crescentes ao longo de um período de tempo mais prolongado. O quarto tipo de alarme referido é ativado quando o nível de saturação térmica do sensor IV é superado [77].

O sistema foi testado em laboratório e em duas situações de fogo controlado. Na primeira situação de fogo controlado, foi simulado um pequeno incêndio num recipiente a 100 m de distância do sensor. Os resultados obtidos mostraram uma deteção correta do incêndio com informação correta relativa à sua localização geográfica. O segundo teste com fogo controlado foi realizado à escala real, com supervisão de um corpo de bombeiros. Os resultados obtidos foram igualmente positivos [77].

3.6.2.3. Detecção de incêndios florestais com recurso a aeronaves não tripuladas

O estudo foi feito no âmbito do projeto europeu COMETS e consiste na utilização de um conjunto de aeronaves não tripuladas (UAS, do inglês *Unmanned Aircraft System*) que, como recurso a uma central de monitorização, permitem a deteção e monitorização de incêndios florestais [78].

As aeronaves usadas no projeto têm as seguintes características: são dotadas de autonomia operacional, capazes de “pairar” no ar em certos lugares, de forma autónoma; são capazes de se localizar no mesmo quadro de referência; estão equipadas com câmaras de infravermelho e/ou visível, para fins de perceção ambiental. As aeronaves têm a bordo dispositivos de comunicação, capazes de receber comandos da central de monitorização e de enviar informações [78].

As câmaras de IV instaladas no equipamento não fornecem dados relacionados com temperatura, mas sim uma estimativa da radiação do cenário que está a ser vigiado. Cada aeronave que compõe o sistema efetua uma recolha de imagens e o respetivo processamento das mesmas, enviando para a central de monitorização toda a informação relativa ao possível incêndio florestal. Na central de monitorização, os dados de todas as aeronaves que constituem a frota são cruzados [78].

Uma vez que se trata de aeronaves, é essencial que a vibração das mesmas não afete as imagens analisadas na central. Para tal, um algoritmo calcula o movimento aparente consecutivo entre imagens, obtendo-se um modelo de imagem do movimento. Cruzando o mesmo com a imagem com os dados atuais, é possível eliminar o movimento da mesma [78].

O sistema foi testado em situações de fogo controlado com recurso a uma frota de três aeronaves. Os resultados obtidos foram positivos, as aeronaves foram capazes de detetar e monitorizar o incêndio florestal sem intervenção de um operador [78].

3.6.2.4. FIRE-WATCH

O estado federal de Brandeburg, na Alemanha, tem 1,1 milhões de ha de floresta e um risco de incêndio muito elevado. Cerca de 30% dos incêndios florestais registados na Alemanha ocorrem neste estado, pelo que surgiu a necessidade de se investir num sistema eficaz, mas economicamente viável, de deteção de incêndios, para desta forma ser possível reduzir custos [79].

O FIRE-WATCH surge como uma melhoria do AWFS. O sistema consiste numa torre com funcionamento automático, capaz de vigiar grandes áreas, que deteta fumo precocemente e emite um alarme para uma central de controlo, juntamente com o qual envia, também de forma automática, fotos

relacionadas com o mesmo, para que as autoridades competentes possam tomar decisões e entrar em ação [79].

O sistema deteta fumo numa faixa de 10 x 10 m, com alcance de 40 km, à luz do dia. A deteção e envio de alerta para o centro de controlo acontecem de forma automática num máximo de 8 minutos. As imagens visualizadas no computador do centro de controlo têm qualidade elevada e para além do armazenamento *online*, também são armazenadas juntamente com os restantes dados no local durante um curto período de tempo.

É considerado um sistema confiável em todas as suas condições operacionais e os falsos alarmes são reduzidos, muitas vezes provocados pelo sol, vento, fumo artificial, fontes de poeira e possíveis oscilações da torre de controlo.

Na Figura 3.10 é possível observar as componentes deste sistema.

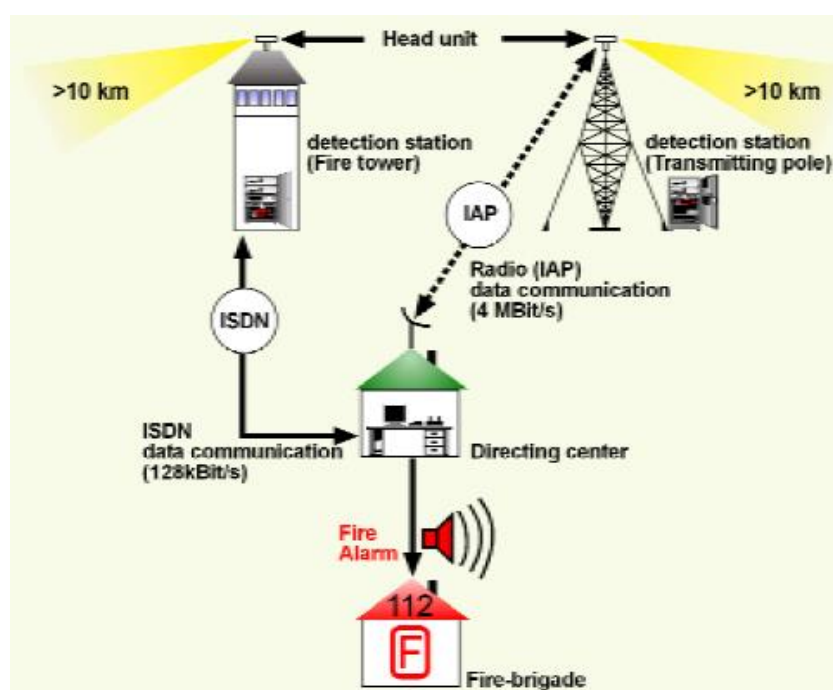


Figura 3.10 – Componentes do sistema FIRE-WATCH [79].

A câmara encontra-se dentro de uma caixa que a protege do sol e outras agressões, o que lhe confere durabilidade, e apesar das suas dimensões reduzidas, tem elevada resolução. A camara opera numa grande gama de temperaturas, entre os -20°C e os +60°C. Os computadores funcionam com uma fonte de alimentação ininterrupta e estão protegidos por uma palavra-passe, mas é possível, a partir do centro de controlo, aceder-lhes remotamente para eventuais atualizações de *software* ou manutenção [79].

A comunicação e envio dos dados da torre para os computadores do sistema pode ser feita de duas formas ^[79]:

- ISDN (Integrated Services Digital Network) - a imagem é compactada e enviada para o centro de controlo. Podem ocorrer interrupções na transmissão de dados, no caso de trovoadas, por exemplo, o que pode ser resolvido por reposicionamento dos cabos. O custo de funcionamento é elevado.
- IAP-radio - uma célula de rádio com alcance de 50 km, que pode ser usada em conjunto com a transferência de dados e imagem para atualizações acerca das condições meteorológicas, por exemplo.

Cada computador no centro de controlo pode administrar um máximo de cinco torres. De forma automática, os ficheiros recebidos são automaticamente descomprimidos e é indicado num mapa digital a localização do foco de ignição ^[79].

O tempo de vida do sistema FIRE-WATCH é de 10 anos ^[79].

3.6.2.5. ADELIE

A empresa francesa PARATRONIC desenvolveu um sistema para deteção automática de incêndios florestais, de seu nome ADELIE. Os seus princípios de funcionamento são considerados simples e eficazes, semelhante a outros sistemas já referidos, como o FIRE-WATCH ^[80].

Este sistema é constituído por uma câmara com cobertura visual de 360° até ao horizonte e a deteção pode ser feita durante as 24 horas do dia. Várias câmaras, colocadas em pontos altos numa determinada área florestal, podem assegurar a deteção de focos de incêndio até 20km, alertando de seguida o centro de controlo. As imagens recebidas e a possibilidade de observação em tempo real permitem aos operadores avaliar a veracidade do alarme ^[80].

Cada ponto pode ser equipado com uma ou duas câmaras, sendo que cada uma cobre 360° ou 180°, que podem ser controladas remotamente por um operador no centro de controlo. A cada 10 segundos é tirada uma fotografia, sendo que 10 fotografias cobrem os 180°. A deteção é feita através de algoritmos que trabalham os parâmetros extraídos das diversas imagens obtidas e a análise é feita em três fases: as imagens começam por ser ajustadas e, de seguida, são comparadas, para que se possa detetar diferenças que indiquem a existência de fumo, e, por ultimo, é feita uma análise completa baseada no uso dos diferentes algoritmos, que permite eliminar da imagem todos os elementos, à exceção do fumo. Só são emitidos alarmes caso a deteção seja feita fora das chamadas zonas de exclusão, que são aquelas onde é sabido que há sempre fumo, como por exemplo na proximidade de

zonas industriais. Após a análise, é enviado para o computador do sistema de controlo, via rádio, uma imagem da ocorrência, o azimuth e a distância. Caso o sistema de transmissão por rádio falhe, os elementos são enviados por ligação *ADSL*, caso esta exista ^[80].

O sistema que recebe os dados é composto por três *softwares*: um FTP (File Transfer Protocol, ou seja, um protocolo para transferência de dados), uma base de dados e a própria aplicação [100].

4. A REALIDADE DAS FLORESTAS PORTUGUESAS

4.1. O PLANO NACIONAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS

No âmbito da Defesa da Floresta contra Incêndios (DFCI), como já referido no subcapítulo 3.5.1, foi publicado o PNDFCI, em 2006, pois após os grandes incêndios de 2003 e 2005, o Governo assumiu ser urgente alterar a forma como a problemática dos incêndios era encarada em Portugal ^[44]. Os grandes objetivos estratégicos do PNDFCI são: redução da área ardida, em termos de superfície florestal, para valores equiparáveis à média dos países da bacia mediterrânica, a eliminação dos grandes incêndios, a redução o número de incêndios com área superior a 1 ha e a redução do número de reacendimentos ^[44].

O PNDFCI assenta em três pilares, cuja responsabilidade está atribuída a três entidades públicas: o encargo das ações de prevenção estrutural ao Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), a vigilância, deteção e fiscalização à Guarda Nacional Republicana (GNR) e o combate à Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) ^[44, 60, 81, 82, 83, 84]. No sentido de descobrir e perceber como é efetivamente encarado e cumprido o PNDFCI, surgiu a necessidade e o interesse em reunir com as entidades referidas, tentando perceber o que é feito e como é pensada a realidade do nosso país.

O ICNF é a junção do Instituto de Conservação da Natureza com os Serviços Florestais ^[81]; encontra-se integrado na administração indireta do Estado, dotado de autonomia administrativa, financeira e património próprio ^[86]. As suas funções passam por *“propor, acompanhar e assegurar a execução das políticas de conservação da natureza e das florestas, visando a conservação, a utilização sustentável, a valorização, a fruição e o reconhecimento público do património natural, promovendo o desenvolvimento sustentável dos espaços florestais e dos recursos associados, fomentar a*

competitividade das fileiras florestais, assegurar a prevenção estrutural no quadro do planeamento e atuação concertadas no domínio da defesa da floresta e dos recursos cinegéticos e aquícolas das águas interiores e outros diretamente associados à floresta e às atividades silvícolas” [86]. A reunião com o ICNF decorreu nas instalações da UPTEC TECH, a 15 de Abril de 2014, na pessoa do Engenheiro Silvino Sousa, Coordenador de Prevenção Estrutural do Distrito do Porto.



Figura 4.1 – Logotipo ICNF [106].

A GNR é uma força de segurança de natureza militar, constituída por militares organizados num corpo especial de tropas e dotada de autonomia administrativa, com jurisdição em todo o território nacional e no mar territorial. Pela sua natureza e polivalência, a GNR encontra o seu posicionamento institucional no conjunto das forças militares e das forças e serviços de segurança, sendo a única força de segurança com organização militar, caracterizando-se como uma Força Militar de Segurança [85].



Figura 4.2 – Logotipo GNR [85].

O Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente (SEPNA), da GNR, tem como missão zelar pelo cumprimento da legislação florestal, da caça e da pesca, legislação referente à conservação e proteção da natureza e do meio ambiente, dos recursos hídricos, dos solos e da riqueza cinegética, piscícola, florestal ou outra, previstas na legislação ambiental, bem como investigar e reprimir os respetivos ilícitos; coordenar todas as atividades de prevenção, vigilância e deteção de incêndios florestais e outras agressões ao meio ambiente; proteger e conservar o património natural; promover e colaborar na execução de ações de formação, sensibilização, informação e educação em matéria ambiental, de conservação da natureza e da biodiversidade; realizar as ações de vigilância de fiscalização solicitadas pela DGRF e, por último, apoiar o Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais (SGIF),

colaborando para a atualização permanente dos dados [85]. No âmbito do trabalho realizado, no sentido de compreender o papel desempenhado pela entidade referida, decorreu, a 14 de Abril de 2014, na GNR, a reunião com o Tenente Silva Ferreira, responsável pelo SEPNA do Comando Territorial do Porto.

O conceito de proteção civil é definido como *“a atividade desenvolvida pelo Estado, Regiões Autónomas e Autarquias Locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas, com a finalidade de prevenir riscos coletivos inerentes a situações de acidente grave ou catástrofe, de atenuar os seus efeitos, proteger e socorrer as pessoas e bens em perigo quando aquelas situações ocorram”* [35]. O objetivo da ANPC é, então, prevenir riscos coletivos e a ocorrência de acidentes ou catástrofes, limitar e atenuar os efeitos dos riscos, socorrer e assistir pessoas e outros seres vivos; proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público e, por último, apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afetadas por acidente grave ou catástrofe [35].



Figura 4.3 – Logotipo ANPC [35].

A 16 de Maio de 2014, nas instalações da ANPC do Porto, reuni com o Tenente Coronel Carlos Alves, 1º Comandante Operacional Distrital do Porto. A 23 de Maio de 2014 desloquei-me a Viana do Castelo para uma reunião com o 1º e 2º Comandante Operacional Distrital de Viana do Castelo, respetivamente Armando Silva e Daniel Robalo Simões.

A organização e concretização das ações relativas à DFCI encontram-se estruturadas de acordo com fases de perigo pré-definidas com base em parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade do território, característicos de determinadas épocas do ano. As fases e os períodos a que corresponde cada uma delas encontram-se na Tabela 4.1 [82, 87].

Tabela 4.1 – Fases de perigo [82, 87].

Período	Fase
01 de Janeiro a 14 de Maio	ALFA
15 de Maio a 30 de Junho	BRAVO
01 de Julho a 30 de Setembro	CHARLIE
01 de Outubro a 31 de Outubro	DELTA
01 de Novembro a 31 de Dezembro	ECHO

Até aos anos 80 os incêndios florestais não eram um problema e a sua manutenção competia aos serviços florestais, com o apoio de voluntários [81]. A certa altura, por motivos que ficaram por referir, as responsabilidades passaram para outras entidades e deu-se o “boom”: mais meios, mais quartéis, mais voluntários e mais bombeiros [81]. O Eng.º Silvino Sousa aponta motivos socioeconómicos como principal causa dos incêndios florestais se terem tornado um problema: o 25 de Abril marca a época em que a qualidade de vida aumentou, as pessoas deixaram o interior para se deslocarem para o litoral, deixaram de dar tanto uso à lenha, atividades de pastoreio diminuíram e as matas deixaram de estar limpas, aumentando a carga combustível nas florestas [81, 84].

O elevado número de ocorrências que todos os anos é registado, concluiu acerca da urgência em se atuar ao nível da prevenção, em duas vertentes principais: controlo das ignições e controlo da propagação [44]. Uma vez que grande parte das ignições são causadas por atividades antrópicas e controlar as ignições significa evita-las, as ações de prevenção devem recair, também, na alteração dos comportamentos sociais [44]. Para a redução da incidência dos incêndios florestais, são definidos pelo PNDFCI três objetivos [44]:

- Sensibilizar as populações;
- Melhorar o conhecimento das causas dos incêndios e as suas motivações;
- Aumentar a capacidade de dissuasão e fiscalização.

O ICNF é o protagonista do primeiro pilar, sendo responsável por tudo o que diz respeito à estrutura da floresta, ou seja, por tudo o que está relacionado com a forma como a floresta está constituída e organizada: locais onde decorrem ações de fogo controlado, a criação e manutenção de vias de acesso, as redes principais e secundárias, as infraestruturas que são colocadas na floresta e que permitem que os outros pilares “assentem” [60].

O ICNF tem sob a sua alçada equipas de sapadores florestais. O trabalho desenvolvido pelos sapadores durante o inverno é essencialmente preventivo: ações de silvicultura preventiva, fogos controlados para gestão de combustível, limpeza de caminhos, abertura de faixas, etc. [60, 81]. No verão, trabalham nos outros dois pilares: apoiam a GNR na deteção de incêndios florestais e, caso sejam a entidade mais próxima do local, funcionam como equipa de primeira intervenção [60, 81].

A missão fundamental da GNR é a vigilância e a deteção de incêndios florestais [60]. A GNR, apesar de ser protagonista do segundo pilar, intervém em todos eles [60]. Em termos de prevenção estrutural, a GNR detém competências de fiscalização sobre a limpeza das matas [60].

Apenas recentemente a GNR passou a ter um papel ativo na problemática dos incêndios e não é unanime a opinião de que encontram adaptados e se vão manter nestas funções, apontando-se a

possibilidade dessa mesma responsabilidade voltar para o ICNF, que sempre trabalhou nessa área ^[81]. Outrora os postos de vigia foram da responsabilidade do ICNF, no entanto, atualmente, o seu controlo é feito pela GNR ^[60]. Sobre os postos de vigia, o Tenente Silva Ferreira afirma que há sempre zonas mortas, cujo olhar não consegue alcançar ^[60], pelo que muitas vezes são estas zonas a ser preenchidas pelas equipas dos sapadores florestais que se encontram no terreno ^[60, 81]. Os postos de vigia apenas funcionam no período considerado crítico, dependendo se pertencem à rede primária ou secundária. Na fase mais problemática, CHARLIE, funcionam 24 horas sobre 24 horas ^[60]. Encontram-se equipados com um sistema que permite apurar o azimuth, com binóculos e meio de comunicação via rádio ^[60]. Quando é dado um alerta por um posto de vigia, a GNR contacta outros postos de vigia para confirmar ou rejeitar o alarme e ser capaz de, através do método de triangulação, apurar o local exato da ocorrência ^[60].

Durante a fase CHARLIE, as patrulhas da GNR reforçam o patrulhamento das florestas ^[60]. Para além do patrulhamento comum, nas zonas de maior dimensão florestal existentes no distrito do Porto (Serra do Marão, Penafiel, Marco de Canavezes e Paredes), a GNR patrulha, diariamente, a cavalo, para que o alerta seja dado o mais rapidamente possível e também para dissuadir presenças ^[60].

As Juntas de Freguesia e as Câmaras Municipais concretizam alguns programas de prevenção e vigilância, partindo do pressuposto que quantos mais olhos estiverem na floresta, mais rápida será feita a deteção do incêndio ^[60]. Para este efeito, por vezes são feitos acordos entre os municípios e o Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP).

A ANPC é a responsável pelo terceiro e último pilar da DFCI ^[60, 82].

Durante as fases BRAVO e CHARLIE, a GNR instala uma equipa na sala do Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS) – ANPC ^[60, 81, 82]. Esta equipa é responsável por todas as questões relacionadas com vigilância, recolhem dados e coordenam os postos de vigia, definem a localização e horário das patrulhas e do batalhão de sapadores da Equipa de Manutenção e Exploração de Informação Florestal (EMEIF) ^[60]. É feito um grande trabalho de planeamento que evita que duas patrulhas estejam no mesmo local ao mesmo tempo, o que permite que a área vigiada seja o mais extensa possível ^[60].

A AFOCELCA, por ser um agrupamento complementar do grupo económico privado ^[88] que reúne os principais produtores de pasta de papel e pelo seu consequente interesse na floresta, colabora com a GNR e com a ANPC no segundo e terceiro pilar ^[81, 82].

A vantagem das várias entidades coexistirem na mesma sala é que a troca de informações pode ser feita de forma mais rápida e eficaz ^[81].

Quando uma ignição é comunicada pela GNR ao CDOS, é enviado para o local os meios considerados necessários para que o combate aconteça ^[82]. O dispositivo que é montado nesta situação encontra-se regulamentado pela Diretiva Operacional Nacional n.º2 – Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais (DECIF) ^[82, 87]. A organização do DECIF encontra-se de acordo com as várias fases de perigo definidas, é flexível e diferenciada, de acordo com a probabilidade e histórico das ocorrências, previsibilidade de intensidade e suas consequências, bem como do grau necessário de prontidão e mobilização das estruturas, forças e unidades de proteção e socorro ^[87].

A última fase do combate a um incêndio florestal é denominada como rescaldo, definido pela Diretiva Operacional N.º2 como a *“ação descontínua e obrigatória em qualquer incêndio, que visa eliminar toda a combustão viva e isolar o material ainda em combustão lenta, utilizando prioritariamente ferramentas manuais, tratores agrícolas e/ou máquinas de rasto, garantindo-se desta forma, que o incêndio não reacende”* ^[87]. Apesar de prevista na legislação, nem sempre esta fase é feita da forma correta pois como os meios são poucos, por vezes é necessário retirar os bombeiros do local para outro mais complicado, acabando a fase de rescaldo por receber menos atenção e, muitas vezes, acontecem reacendimentos.

Todas as ocorrências e aspetos relativos às mesmas são registados no SGIF, gerido pelo ICNF ^[81, 82].

Cerca de 30% das ocorrências verificadas no território continental português, são registadas no distrito do Porto ^[60, 84]. O distrito do Porto é bastante urbanizado pelo que a interface urbano-florestal é um problema que todos reconhecem: as pessoas começaram a construir onde os terrenos eram mais baratos, levando-as a entrar para dentro da floresta, verificando-se atualmente uma situação quase caótica ^[81]. Este facto é o principal responsável pela grande quantidade de ignições ^[60, 81, 82]. Apesar disso, como há pouca área florestal para arder, apesar das ocorrências serem muitas, os números acabam por não ser considerados preocupantes ^[60]. No entanto, em muitos outros distritos onde a interface urbano-florestal é um problema e a disponibilidade de combustível é maior, considera-se problemático o facto de os bombeiros, na maioria dos incêndios florestais, não combaterem o fogo mas sim protegerem pessoas e bens, muitas vezes aplicando o contrafogo ^[81]. Então, o problema de existir o problema da interface urbano-florestal é o facto de mover bombeiros para esses locais, que, caso não estivessem à volta das casas à espera do fogo, poderiam apaga-lo mais prontamente ^[81].

Conhecida a realidade do distrito do Porto, surgiu a curiosidade de conhecer a realidade do distrito de Viana do Castelo, por ser este um distrito com uma área florestal superior a 50% e por parte do Parque Nacional da Peneda-Gerês (PNPG) lhe pertencer.

No distrito de Viana do Castelo existem 23 equipas de sapadores florestais, resultantes de protocolos existentes entre o ICNF e algumas associações. Apesar do trabalho que cada equipa realiza na associação correspondente, contratualizado com privados, existe uma componente de serviço público, cujas tarefas e objetivos são determinados pelo ICNF ^[83]. As equipas de sapadores realizam, então, funções de prevenção estrutural, como a limpeza de mato, limpeza e definição de caminhos e pontos de água ^[83]. Durante o período crítico os sapadores florestais fazem vigilância e são, muitas vezes, os primeiros a intervir quando um incêndio deflagra ^[83].

Existem no distrito 10 postos de vigia, pertencentes à rede secundária, apenas em funcionamento na fase Charlie. No entanto, a GNR conseguiu que, este ano, quatro dos postos de vigia começassem a funcionar a partir de 15 de Maio, ou seja, enquadrando-se na rede primária ^[83].

Tal como no resto do país, pois o sistema encontra-se, teoricamente, uniformizado, o EMEIF trabalha em conjunto com a Proteção Civil, coordenando toda a vigilância: define a localização das equipas, os horários, etc. ^[83]. Toda a informação encontra-se registada. Por questões de logística, ao contrário do que acontece no distrito do Porto, em Viana do Castelo não há a possibilidade de GNR e ANPC trabalharem no mesmo espaço, no entanto, a comunicação, feita via rádio para não sobrecarregar linhas telefónicas, é constante e eficaz ^[83].

No PNPG foram desenvolvidos alguns projetos-piloto numa ótica preventiva que agradasse aos locais, como por exemplo a gestão de matos direcionada para o pastoreio ^[83]. Mas, neste distrito, os bons exemplos são vários. A gestão de combustível feita no concelho de Valença é um trabalho conjunto de equipas de sapadores florestais e de brigadas formadas por membros desempregados inscritos no IEFP, sendo considerada exemplar ^[83]. O Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro (GIPS), da GNR, iniciou em três freguesias do município de Arcos de Valdevez (Sabadim, Gondoriz e Vale) um projeto cujo objetivo consiste em identificar os proprietários e alerta-los para a legislação que os obriga a manter os terrenos limpos. Os resultados são positivos, em 90% das situações os proprietários limpam de livre vontade, sem necessidade de se recorrer à multa ^[83]. A missão do GIPS é a execução de ações de prevenção e de intervenção de primeira linha em todo o território nacional, em situações de emergência de proteção e socorro, designadamente nas ocorrências de incêndios florestais ou de matérias perigosas, catástrofes ou acidentes graves ^[83]. Na freguesia do Carvoeiro, Viana do Castelo, teve a iniciativa de trabalhar um terreno baldio, originando aquilo a que se pode chamar um “efeito dominó”, pois levou a que os restantes locais decidissem também cuidar dos seus terrenos ^[83]. Um outro bom exemplo é o da freguesia de Poiares, Ponte de Lima, onde toda a interface urbano-florestal se encontra limpa ^[83].

Nenhum país tem tudo limpo mas uma boa gestão do combustível existente nas nossas florestas e um correto ordenamento do território são de extrema importância ^[83, 84]. Os proprietários florestais têm que ser os principais interessados na floresta, os restantes membros da sociedade apenas têm que a respeitar ^[84]. Os responsáveis pelo CDOS de Viana do Castelo afirmam que *“enquanto as Juntas de Freguesia não intercederem, enquanto a Câmara Municipal não interceder, enquanto o Governo não interceder... os resultados continuarão a ser negativos”* ^[83].

A opinião é unânime quando o assunto são as causas dos incêndios: a culpa é quase sempre do Homem, quer por negligência, quer por mão criminosa ^[60, 81, 82, 84]. A negligência é considerada uma contra ordenação e não um crime, sendo que muitas vezes as pessoas são apenas multadas ^[81], o que só pode acontecer se alguma queixa for apresentada ^[84]. Investigar as causas dos incêndios florestais é da responsabilidade da GNR e a sua importância é imensa ^[81], havendo até a opinião de que deveriam trabalhar psicólogos nessa área ^[83].

No que diz respeito aos vigias, a opinião é novamente unânime: estes são indispensáveis pois para além de darem o alerta de incêndio, dando informações sobre a localização e cor do fumo, ainda colaboram na monitorização do mesmo, alertando para fatores como a influência do vento no desenvolvimento do incêndio ^[60, 81, 82, 83]. Posto isto, apesar de considerarem úteis os sistemas de deteção e monitorização ^[60, 81, 82, 83], sendo a sua fragilidade um dos principais motivos de preocupação ^[81], todos afirmam que não substituem o tradicional sistema de vigilância, podendo no entanto funcionar como um complemento útil ^[60, 81, 82, 83]. O Tenente-coronel Carlos Alves mostrou-se pouco otimista, afirmando não pensar ser possível arranjar um mecanismo de deteção de incêndios mais eficiente do que o que existe atualmente, considerando-o menos fidedigno que o indivíduo no posto de vigia ^[82].

A questão da defesa da floresta contra incêndios é muito apetecível para os investigadores pois há muito dinheiro envolvido na floresta, tendo aparecido nos últimos anos bastantes projetos a nível nacional e internacional, focados na videovigilância e deteção remota precoce de incêndios florestais ^[81]. Os projetos-piloto que por vezes surgem não ficam sobre alçada da GNR mas sim dos municípios, sendo que são os responsáveis pelo desenvolvimento do projeto que informam o CDOS da ocorrência do incêndio e respetiva localização ^[60]. Os custos de investimento, montagem e manutenção por vezes são elevados, não permitindo que sejam instalados meios suficientes, o que muitas vezes dificulta questões de localização, por ser difícil usar o método da triangulação ^[60]. A GNR considera, no entanto, que qualquer sistema inovador de deteção e monitorização pode ser importante na missão que realizam, alegando que através duma forma que a longo prazo se apresenta mais barata, se pode complementar e talvez substituir alguns meios humanos ^[60].

A política da reflorestação dos terrenos agrícolas apesar de ter sido bem vista pelas pessoas, a verdade é que não foi uma medida assim tão positiva no que aos incêndios florestais diz respeito. Uma vez que se estavam a plantar árvores em terrenos bons, com bastante água, sendo que normalmente a floresta está presente em terrenos fracos, como encostas e zonas rochosas, aquando da chegada do verão e das temperaturas altas, essas zonas estavam verdes. Quando um incêndio deflagrava, se outrora o fogo chegava a essas zonas e não passava dali pois não havia nada mais para arder, essa zona de ancoragem deixou de existir, ardendo também ^[81]. Espécies que não se encontrem adaptadas ao meio não resistem a pragas e doenças ^[81].

O Eng.º Silvino Sousa destaca o fator económico, referindo que o país conhece os números que a floresta representa na economia, mas, mesmo assim, apenas na época dos fogos é que se fala na floresta, apenas quando há incêndios é que a preocupação surge. Alerta para o facto de “*na parte da prevenção falamos em tostões, no combate falamos em milhões*”, defendendo ainda que o dinheiro deve ser aplicado na prevenção, reestruturação e ordenamento do território, reconhecendo que na defesa da floresta contra incêndios, a prevenção estrutural, para se tornar ideal, pode demorar uma ou duas gerações ^[81]. Para o Tenente-coronel Carlos Alves, não se podem misturar nem comparar os custos do combate com os custos da prevenção.

Como referido no Capítulo 3, a ignição de um incêndio florestal está dependente do triângulo do fogo: combustível, comburente e fonte de ignição ou energia de ativação ^[36]. Se um destes aspetos não se verificar, o fogo não acontece. Uma vez que o oxigénio não pode ser “controlado”, é ao nível do combustível e da fonte de ignição que se pode agir. Uma correta gestão do combustível florestal e uma mudança no comportamento da sociedade é essencial para prevenir e minimizar as consequências dos incêndios florestais ^[81, 82]. Como a problemática dos incêndios não se resolve só com “limpar os montes”, pois para além da falta de mão-de-obra disponível, também faltam as verbas ^[81], é urgente sensibilizar e educar ^[60, 81, 82]. O pensamento de que é possível acabar os incêndios florestais e que isso seria positivo está errado ^[81], os incêndios têm um papel importante nos ecossistemas que deve ser reconhecido.

O sector florestal não é tão organizado quanto deveria ser devido à grande percentagem que se encontra na posse de privados ^[81] e por não existir um cadastro de todos os proprietários florestais ^[84]. A forma como a floresta é tratada em Portugal e o facto de as pessoas não estarem conscientes do valor da floresta faz com que as pessoas não valorizem a floresta, resultando numa má gestão florestal ^[60, 81]. A floresta tem um valor inquestionável que ninguém paga: o ar que todos respiramos ^[81, 84]. É importante que as pessoas saibam e sintam que a floresta pode trazer vantagens e dividendos, pois só assim a sociedade vai alterar a sua perspetiva e investir na floresta ^[60].

Como já referido anteriormente, um dos principais problemas relacionado com os incêndios florestais é a perda de vidas humanas. Algumas medidas deveriam ser tomadas para combater este facto. No ano de 2013, onze pessoas perderam a vida no combate às chamas ^[42]. Em 2014 foi publicado o “Guia de bolso e manual sobre segurança no combate aos incêndios florestais”. O Eng.º Silvino Sousa defende que os bombeiros voluntários deveriam receber formação vocacionada para o combate a incêndios florestais. A formação, o saber fazer, a prática, a vivência, o conhecimento dos locais são fatores que refere como muito importantes para evitar acidentes ^[81].

4.2. AS ZONAS DE INTERVENÇÃO FLORESTAL

Uma Zona de Intervenção Florestal (ZIF) é uma área florestal contínua, com dimensão mínima de 750 hectares, constituída por diversas parcelas pertencentes a diferentes proprietários, organizados de forma a promover a gestão e defesa do seu património florestal. Uma ZIF encontra-se submetida a um Plano de Gestão Florestal (PGF) e a um Plano Específico de Intervenção Florestal (PEIF), ambos elaborados, promovidos e/ou executados por uma Entidade Gestora (EG) única, com capacidade técnica adequada e dotada de um centro de custos. Apontam-se como principais objetivos das ZIF contornar algumas situações que condicionam a boa gestão e evolução da floresta portuguesa, como o absentismo dos proprietários e a ausência de medidas adequadas de ordenamento e planeamento territorial.

As ZIFs foram uma das medidas tomadas após os grandes incêndios florestais de 2003 ^[110], sendo consideradas o “caminho certo” na gestão florestal nacional e na proteção da floresta contra os incêndios ^[60, 81, 89].

A 5 de Agosto de 2005 é publicado o DL n.º127/2005, que estabelece as bases legais para a criação de uma ZIF e os princípios reguladores da sua constituição, funcionamento e extinção. Mais tarde, em 2009, o documento é revisto e as alterações são apresentadas no DL n.º15/2009, 14 de Janeiro.

Aquando da realização do 3.º relatório de progresso relativo às ZIFs, datado de 29 de Agosto de 2012, 9,5% do território de Portugal continental estava ocupado por ZIFs. Existiam 161 ZIFs constituídas, abrangendo uma superfície total de 846 127 hectares ^[90], como é possível observar na Tabela 4.2. Existem mais de 20 700 proprietários aderentes e na gestão das ZIF encontram-se envolvidas 57 Organizações de Produtores Florestais (OPF), 7 empresas privadas. Em média, cerca de 74% da área de uma ZIF corresponde a espaços florestais: 50% a povoamentos florestais e 24% a matos.

Tabela 4.2 – Número e área das ZIF, por região ^[90].

Região	ZIF constituídas	Área Total (ha)
Norte	39	146 960
Centro	75	299 072
Lisboa e Vale do Tejo	26	303 871
Alentejo	4	27 294
Algarve	17	68 931
Total	161	846 128

Entre 2007 e 2012, a taxa média anual de área ardida em ZIF foi de 0,3%.

Tabela 4.3 – Comparação da área ardida em ZIF com a área ardida em Portugal continental ^[90].

Ano	Área (ha)			Taxa anual de área ardida (%)	
	ZIF constituídas	Ardida em ZIF	Ardida em Portugal continental	ZIF constituídas	Portugal continental
2007	47243	271,5	32595,2	0,57%	0,37%
2008	278045	34,1	17564,8	0,01%	0,20%
2009	506200	1608,5	87420,8	0,32%	0,98%
2010	595025	10292,5	133090,7	1,73%	1,49%
2011	801156	5402,8	73813,0	0,67%	0,83%
2012	846128	4706,0	63479,0	0,56%	0,71%

Em 2007 e 2010 a taxa de área ardida foi superior nas ZIF. Nos restantes anos analisados pelo 3º Relatório de progresso, o restante território continental português apresenta taxas de área ardida superiores à das ZIF ^[90].

Com o objetivo de perceber, na realidade, como funciona uma ZIF, explorou-se o caso da ZIF de Gondomar. A ZIF de Gondomar (ZIF nº55, processo nº 178/08 - AFN) ^[86] tem uma área de 1 257 hectares e engloba as freguesias de Covelo, Medas e Melres ^[91]. A ZIF tem uma taxa de ocupação no concelho de 9,5% ^[90] e 97,7% da sua área encontra-se ocupada com espaços florestais ^[100]. A gestão da ZIF de Gondomar é assegurada pela Portucalea – Associação Florestal do Grande Porto, pelo que se mostrou interessante o diálogo com esta associação.



Figura 4.4 – Logotipo Portucalea.

A Portucalea é uma Associação sem fins lucrativos que presta extensão florestal e apoio técnico de forma gratuita a todos os interessados. A associação presta serviços de consultoria florestal, execução de serviços como cartografia digital e operações silvícolas, informações legais sobre o sector florestal, aconselhamento sobre proteção, valorização e comercialização de produtos florestais, ações de sensibilização florestal e cursos de formação. A área de intervenção da Portucalea abrange nove concelhos da área metropolitana do Porto: Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Gondomar, Valongo, Maia, Porto, Matosinhos, V. N. Gaia e Espinho [92]. A 28 de Abril de 2014, nas instalações da Portucalea, em Gondomar, reuni com Sónia Rodrigues, membro da equipa técnica da associação.

A Portucalea tem sobre a sua alçada quatro equipas de sapadores, sendo que a cada uma corresponde uma área de intervenção específica – Valongo, Gondomar, Gaia e Vila do Conde [93].

As equipas de sapadores trabalham na floresta durante o ano inteiro, intervindo nos três pilares da DFCI. Existe um plano de atividades definido em conjunto com cada câmara municipal que define as prioridades em cada localidade, sendo que são os sapadores quem realiza as ações necessárias – limpam o mato, desramam árvores, cortam as árvores doentes/debilitadas, limpam e definem trilhos e caminhos, definem faixas corta-fogo e limpam faixas de 10 m junto aos caminhos definidos como prioritários [93]. A Portucalea realiza ainda fogos controlados, com o acompanhamento dos sapadores. São realizadas junto das escolas ações de sensibilização e são cumpridos alguns projetos cujo objetivo é criar/manter áreas arborizadas [93]. Durante o Verão, o trabalho dos sapadores é colaborar com o segundo e terceiro pilares, pelo que vigiam as florestas e funcionam como equipa de primeira intervenção no caso de deteção de um incêndio florestal. Cada equipa tem uma viatura com todo o equipamento necessário para, em caso de necessidade, serem os primeiros a intervir.

Na ZIF de Gondomar, não existe um projeto a nível global a ser executado neste momento pois os planos que existem não se encontram implementados devido à falta de financiamento, pelo que as ações que são realizadas são iniciativa dos proprietários que querem proteger a sua área [93]. A função da Portucalea, em relação à ZIF, é gerir o terreno dos proprietários e associados [93]. No entanto, enquanto entidade gestora, só se realizam ações que tenham sido autorizadas pelos proprietários.

Caso a associação elabore uma proposta e o proprietário do terreno não autorize a intervenção, esta não acontece [93].

4.3. OS BALDIOS

Os baldios não têm um proprietário específico, pertencem aos lugares [81]. São terrenos comunitários, que os habitantes gerem de acordo com as suas vontades, usando o terreno para os mais diversos fins [25, 81]. Em 1938, com o argumento de que a gestão que era feita dos baldios impedia o progresso económico e agrícola do país, foi publicada a Lei do Povoamento Florestal, que definia que os baldios pertenciam ao Estado. Com o fim do Estado Novo, através da Constituição de 1976, os baldios foram devolvidos ao povo. Passam a existir dois regimes de administração possíveis: cogestão, entre os moradores (ou autarquias) e o Estado, ou apenas pelos moradores (ou autarquias), a chamada autogestão. A legislação referente aos baldios data de 4 de Setembro de 1993, com a publicação da Lei nº68/93, também conhecida como Lei dos Baldios, e ainda se encontra em vigor. As únicas alterações feitas referem-se apenas a dois artigos, presentes na Lei nº89/97, de 30 de Julho.

Existem atualmente 1107 unidades de baldios, com uma extensão total de 278 100 hectares, distribuídos como indicado na Tabela 4.4 e Figura 4.5 [25]. Apenas são considerados os terrenos baldios cuja gestão segue um dos modelos já referidos, como indicado na Tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Áreas de baldio em Portugal continental [25].

Região	Área (ha)	Unidades
Lisboa	800	4
Leiria	4 000	13
Santarém	4 000	9
Aveiro	4 500	46
Castelo Branco	7 000	6
Porto	7 200	12
Guarda	13 000	37
Braga	13 100	34
Coimbra	22 500	92
Bragança	33 000	79
Viana do Castelo	51 000	169
Viseu	51 000	266
Vila Real	67 000	340
Total	278 100	1 107

Figura 4.5 – Distribuição das áreas de baldio em Portugal continental [25].

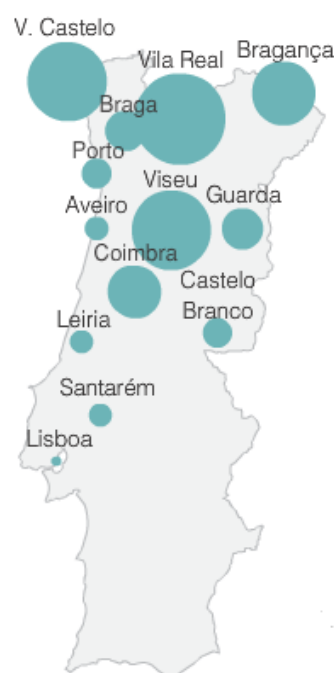


Tabela 4.5 – Modelos de gestão dos baldios ^[25].

	Representados por uma junta de freguesia	Representados por um conselho diretivo
Autogestão	59	187
Cogestão	275	586

4.4. A FLORESTA COMO ENERGIA RENOVÁVEL

De acordo com a Diretiva das Energias Renováveis, a Diretiva 2009/28/CE, o Plano Nacional das Energias Renováveis define como meta a incorporação de 31% de energia proveniente de Fontes de Energia Renováveis (FER). Das várias FER, a biomassa tem visto a sua importância ser destacada.

A Diretiva referida define biomassa como “a *fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da agricultura (incluindo substâncias de origem vegetal e animal), da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos*” ^[94].

A biomassa é uma fonte de energia derivada dos produtos e subprodutos florestais, dos resíduos da indústria da madeira, dos resíduos de culturas agrícolas, dos efluentes domésticos e de indústrias agropecuárias e agroalimentares, das culturas energéticas e dos resíduos sólidos urbanos ^[95].

Os subprodutos de origem florestal são, então, um recurso importante para aproveitamento energético. Resultam de podas, desramamento de árvores e ações de limpeza e abate de árvores. Em centrais de cogeração podem ser utilizados para produção simultânea de energia elétrica e calor ^[95].

Em Portugal, a EDP é proprietária de quatro centrais termoelétricas que fazem uso de biomassa florestal para produção de energia elétrica: Central de Biomassa de Rodão (desde 2007), Central de Biomassa de Constância (desde 2009), Central de Biomassa da Figueira da Foz (desde 2009) e Central de aproveitamento de resíduos florestais de Mortágua (desde 1999) ^[96].



Figura 4.6 – Central de aproveitamento de resíduos florestais de Mortágua [96].

A Central de aproveitamento de resíduos florestais de Mortágua, localizada no distrito de Viseu, encontra-se em funcionamento desde Agosto de 1999, tendo sido a primeira do género a ser instalada em Portugal. São utilizados resíduos florestais, abundantes na região, para produção de eletricidade. O objetivo inicial do projeto foi, também, motivar os proprietários florestais a gerir da forma correta os seus espaços, pois estão a receber algo em troca disso. Assim, este projeto contribui para o correto ordenamento florestal da região, reduzindo a frequência e intensidade dos incêndios florestais. Estima-se uma produção anual de 500 mil toneladas de biomassa florestal. A central foi projetada com capacidade para gerir 100 mil toneladas de biomassa florestal por ano, permitindo fornecer à rede de distribuição de energia elétrica cerca de 63GWh por ano. A potência instalada na central é de 9MW e a queima é feita numa caldeira com 33MWth [96].

4.5. A GESTÃO FLORESTAL E O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Os incêndios florestais são um desafio para a gestão florestal: se por um lado são benéficos, pois são parte natural dos ecossistemas e contribuem para a manutenção da floresta, mantendo a sua diversidade, por outro ameaçam comunidades e destroem uma grande quantidade de recursos.

A qualidade de uma paisagem é inerente a um território mas a fragilidade que apresenta varia com a atividade que é desenvolvida nos mesmos. Uma paisagem degradada é considerada um ambiente frágil e sentirá mais a ação de agentes externos (como a erosão, pragas, doenças e os próprios incêndios). Quando o valor paisagístico é baixo, é maior a probabilidade de se verificarem condições favoráveis à ignição e propagação de incêndios.

Em 1996, a criação da Lei de Bases da Política Florestal (Lei nº 33/96 de 17 de Agosto), originou o conceito de Plano Regional de Ordenamento Florestal (PROF). O objetivo era criar um instrumento de gestão e ordenamento dos espaços florestais, através do estabelecimento de linhas orientadoras para o sector florestal, para que proprietários, industriais, técnicos e outras entidades possam tomar decisões com base em algo mais que os seus interesses particulares. Os PROF são regulados pelo Decreto-Lei nº 16/2009, de 14 de Janeiro.

Os PROF são planos florestais a longo prazo, fornecendo o enquadramento técnico e institucional necessário para minimizar possíveis conflitos. De acordo com o nº 3 do Artigo 5º da Lei nº 33/96, de 17 de agosto, cada PROF deve incluir:

- Avaliação das potencialidades dos espaços florestais, do ponto de vista dos seus usos dominantes;
- Definição do elenco de espécies a privilegiar nas ações de expansão e reconversão do património florestal;
- Identificação dos modelos gerais de silvicultura e de gestão dos recursos mais adequados;
- Definição das áreas críticas do ponto de vista do risco de incêndio, da sensibilidade à erosão e da importância ecológica, social e cultural, bem como das normas específicas de silvicultura e de utilização sustentada dos recursos a aplicar a estes espaços.

O PROF é elaborado a partir de uma Comissão Mista de Coordenação, que conta com a cooperação de representantes da administração central, regional e local e organizações não-governamentais (ONG) com interesse direto nos recursos florestais.

4.5.1. O Gabinete Técnico Florestal

Os Gabinetes Técnicos Florestais foram criados em 2005 ^[97] e o seu trabalho passa por auxiliar na concretização e implementação das competências de cada município com área florestal no que diz respeito à defesa desses espaços contra incêndios florestais ^[98]. Assim, alguns dos seus objetivos compreendem ações de prevenção e sensibilização da população, a elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), que apresenta o conjunto de medidas previstas para 5 anos, o Plano Operacional Municipal (POM), que consiste numa tabela com os dados relativos aos meios disponíveis e localização das equipas da floresta, e ainda a gestão de ações de planeamento e ordenamento do território ^[97, 98].

Uma vez que a Câmara Municipal do Porto não tem Gabinete Técnico Florestal, pois o concelho do Porto não tem área florestal que o justifique, a 26 de Maio de 2014, reuni com o Engenheiro Artur Borges, responsável pelo Gabinete Técnico Florestal da Câmara Municipal de Felgueiras e ex-membro de um Grupo de Análise e Uso do Fogo (GAUF).

Na opinião do Eng.º, os grandes avanços feitos após os fatídicos anos de 2003 e 2005 têm-se perdido. Um exemplo disso são os GAUFs, grupos de três ou quatro pessoas que *pensavam* os incêndios. Criados no pós-2005, as suas funções passavam por analisar o incêndio, apurando algumas informações relevantes como a força que movimenta o fogo (vento, combustível), quando é que essa mesma força vai deixar de ter influência na direção do fogo, etc. A investigação implicava considerar padrões sinóticos e o chamado efeito de *Fohen*. A meteorologia influencia a ocorrência do incêndio e condiciona a sua propagação, sendo este o principal fator que define a área ardida. De acordo com as condições meteorológicas, há sempre uma área que vai, obrigatoriamente, arder. No entanto, uma vez que a meteorologia é decisiva, esses fatores podem ser analisados em formato de modelos meteorológicos e, ao saber por onde se combater, a área ardida não será maior do que a dita obrigatória [97].

Como todas as entidades ouvidas, também o Eng.º Artur Borges refere, antes de tudo, que o fogo é uma componente indissociável do território mediterrâneo, pelo que é necessário que ardam vários hectares por ano. O alerta recai para o facto de a solução preventiva passar não só pela sensibilização das populações mas também por uma atitude pró-ativa da parte do Estado, com a promoção de ações de silvicultura preventiva. O desordenamento territorial verificado não é florestal mas sim urbanístico, o que provoca o tão elevado número de ignições na interface, situação que, como já referido, apesar de não apresentar gravidade a nível de área ardida consome muitos recursos, pelo que devem ser procuradas soluções. O Eng.º afirma que uma das soluções preventivas está na limpeza da floresta, no entanto, não está em obrigar as pessoas a limpar pois muitas vezes as mesmas não possuem recursos humanos nem económicos para o fazer, pelo que a mesma deveria ser assegurada pelas autarquias. A limpeza deve ser estratégica e não indiscriminada.

4.5.2. Antes do fogo

As estratégias de prevenção de incêndios florestais passam por uma reorganização dos espaços florestais, pela correta gestão de combustível e pela criação de infraestruturas e compartimentação de espaços florestais [99].

A silvicultura preventiva apresenta-se como uma solução viável para combater o flagelo dos incêndios florestais, atuando ao nível da estrutura e composição dos espaços florestais. A nível da estrutura dos espaços florestais, as intervenções silvícolas procuram gerar e manter descontinuidades verticais e horizontais entre os diferentes níveis de combustível, limpando mato e elevando a altura das copas. A nível da composição dos espaços florestais, o objetivo centra-se na criação de povoamentos com espécies menos inflamáveis, menos combustíveis e mais resilientes.

A gestão dos combustíveis pode seguir duas estratégias distintas: Faixas de Gestão de Combustível (FGC) e Mosaicos de Parcelas de Gestão de Combustível (MPGC) [99].

O objetivo das FGC é a contenção do fogo, evitando a sua propagação para determinados locais. As FGC correspondem a uma parcela de território estrategicamente definida, em que a biomassa florestal foi removida total ou parcialmente. O planeamento das FGC é feito de acordo com o esquema mostrado na Figura 4.7, para que seja possível alterar o comportamento do fogo, posicionar meios de combate e aplicar técnicas de fogos de supressão [99].

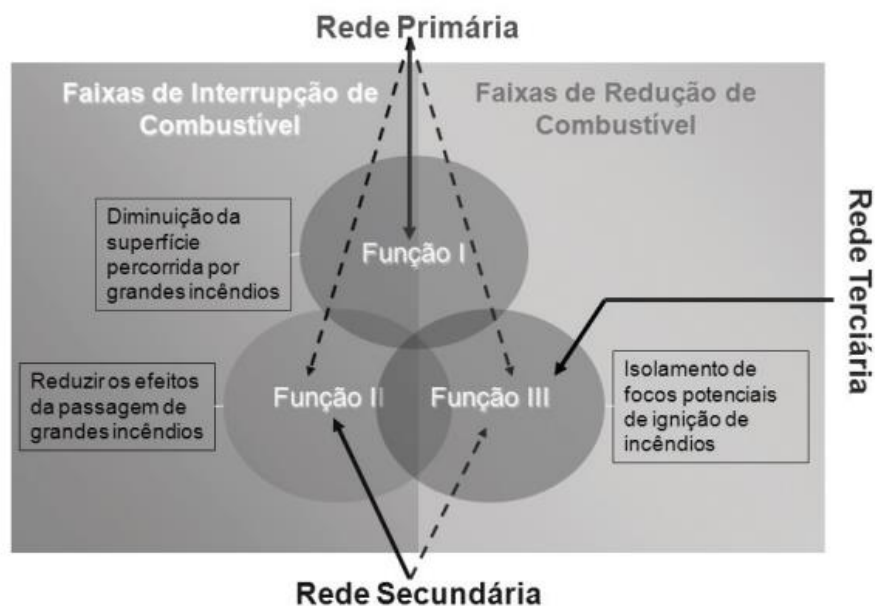


Figura 4.7 – Esquema síntese das FGC [99].

O objetivo dos MPGC é modificar o comportamento do fogo e facilitar a supressão. Para definir os contornos de um MPGC várias condicionantes são analisadas, pelo que o ordenamento territorial com recurso a MPGC é feito de acordo com o esquema apresentado na Figura 4.8.

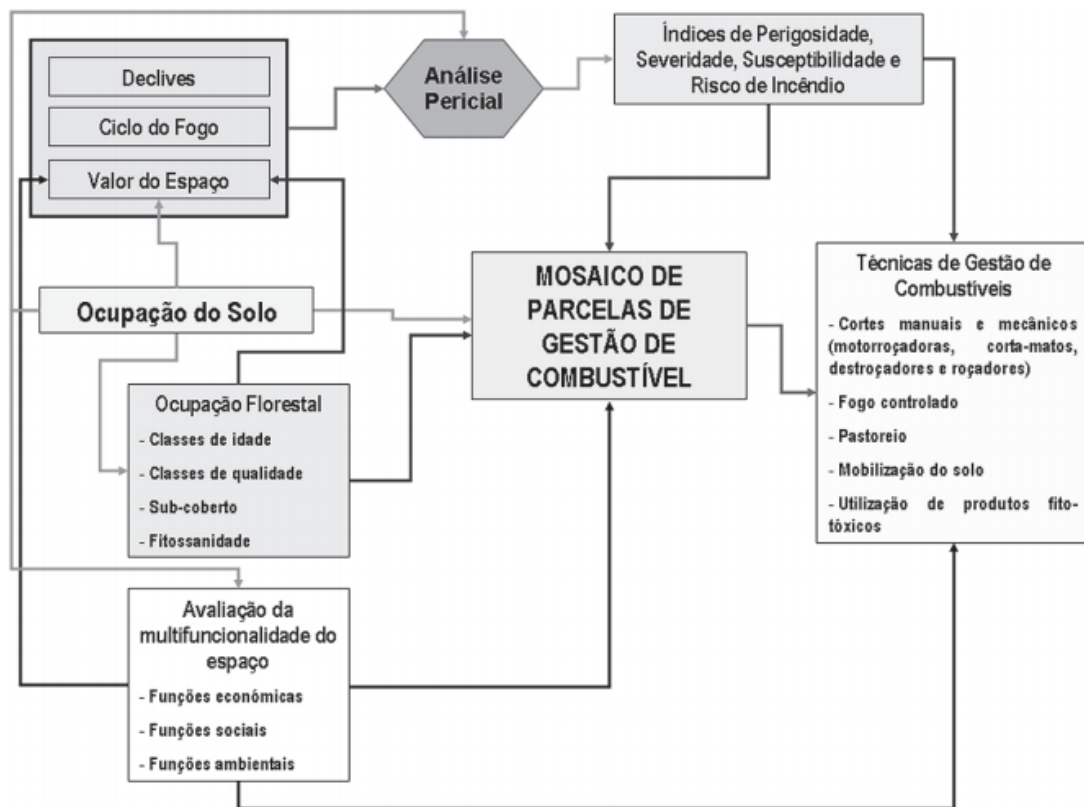


Figura 4.8 – Esquema simplificado dos elementos constituintes de um MPGC [99].

4.5.3. Depois do fogo

A recuperação de uma área ardida começa pela avaliação dos danos que o incêndio causou. Como já referido, as espécies características dos ecossistemas mediterrâneos apresentam-se adaptadas ao fogo. As diversas respostas das plantas à ocorrência do fogo levaram a que se fizesse uma divisão de acordo com os diferentes mecanismos adaptativos encontrados: espécies de regeneração vegetativa e espécies de regeneração obrigatória por semente. As espécies de regeneração vegetativa, de que são exemplo os carvalhos, as azinheiras e os sobreiros, são aquelas cuja regeneração após o fogo se verifica pela ocorrência de novos rebentos na base do tronco, raízes ou copa. As espécies de regeneração obrigatória por semente, como a esteva, o sargaço e o rosmaninho, morrem após a ocorrência de um incêndio, pelo que a sua continuidade está dependente da germinação de sementes produzidas antes do fogo. Algumas árvores apresentam ainda uma grande resistência ao calor, como é o caso do sobreiro e do pinheiro-bravo, devido à casca bastante espessa [100]. Em condições de evolução natural da vegetação, a floresta deveria ser constituída essencialmente por espécies pertencentes ao primeiro grupo referido, devendo o segundo ser encontrado em áreas pouco férteis. No entanto, as alterações

verificadas no regime do fogo impedem o desenvolvimento natural da vegetação. Após o incêndio, nem todas as áreas podem ser imediatamente reflorestadas pois isso pode acelerar processos de erosão e deslizamento de terras, devendo-se aguardar pela regeneração natural [55].

5. CASO DE ESTUDO PRÁTICO: DETECÇÃO DE INCÊNDIOS ATRAVÉS DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

5.1. REVISÃO DE LITERATURA

5.1.1. Detecção remota e radiação eletromagnética

A detecção remota pode ser definida como o conjunto de técnicas que permite a recolha e interpretação de informação de algo (objeto ou área, por exemplo) sem estar em contacto físico com o que se pretende investigar ^[101]. São exemplos de sistemas de detecção remota os sensores digitais instalados em satélites, os sensores digitais ou analógicos instalados em aviões e os sensores portáteis usados em trabalhos de campo ^[101].

Todos os objetos com temperatura superior ao zero absoluto ($0\text{ K} = -273^{\circ}\text{C}$) emitem energia eletromagnética ^[101]. O espectro eletromagnético (Figura 5.1) é o intervalo contínuo de radiação eletromagnética, percorrendo todas as frequências e comprimentos de onda.

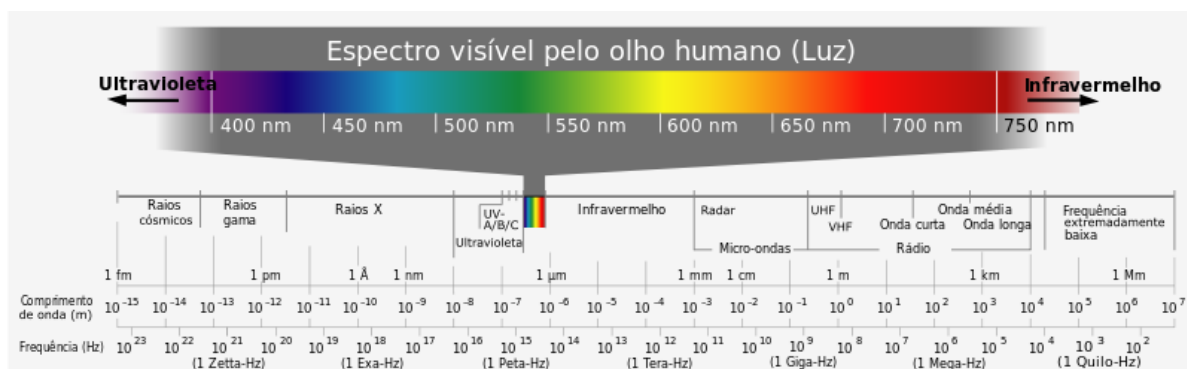


Figura 5.1 – Espectro eletromagnético ^[102].

Como observável na Figura 5.1, o espectro eletromagnético pode ser dividido em sete regiões de acordo com a sua frequência e comprimento de onda: raios gama (com maior frequência e menor comprimento de onda), raios-X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas rádio (com menor frequência e maior comprimento de onda) ^[101].

Um sensor mede e regista energia eletromagnética. Pode ser feita a distinção entre dois tipos de sensores: passivos ou ativos (Figura 5.2). Os sensores passivos dependem de uma fonte externa de energia, ou seja, só podem ser utilizados para detetar energia que está naturalmente disponível, como o sol. Por outro lado, os sensores ativos têm a sua própria fonte de energia, uma vez que emitem radiação para o alvo a analisar, sendo que o sensor mede a radiação refletida ^[101,103].

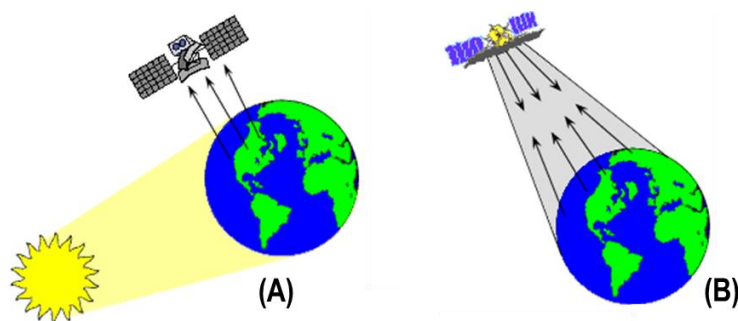


Figura 5.2 – Sensor passivo (A) e sensor ativo (B) ^[103].

A deteção remota envolve a medição de energia em diversas partes do espectro eletromagnético, sendo que as regiões com maior interesse são a luz visível, o infravermelho e as micro-ondas ^[101]. Nos últimos anos, a deteção remota tem evoluído bastante no sentido de monitorizar a superfície terrestre e condições ambientais, podendo ser considerada uma importante ferramenta na gestão dos recursos naturais ^[101].

Os avançados sistemas usados nos EUA, descritos em seguida, baseiam-se em conceitos que podem ser aplicados e adaptados à realidade portuguesa.

5.1.1.1. TES – Tropospheric Emission Spectrometer

Tropospheric Emission Spectrometer (TES) é um instrumento utilizado no satélite Aura, desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), capaz de fornecer simultaneamente dados relativos às concentrações de monóxido de carbono, ozono, vapor de água e metano, presentes na baixa atmosfera – a troposfera. A troposfera é a camada inferior da atmosfera, encontra-se em contacto com a superfície terrestre e a sua altura varia entre 17 km

(no equador) e 6 km (nos polos) ^[104]. Uma vez que é a camada da atmosfera com a qual temos contacto direto, a sua importância é imensa e as suas características têm impacto nas nossas atividades.

O satélite funciona com tecnologia de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR, do inglês Fourier Transform Infrared Spectroscopy). É medida a energia infravermelha da luz emitida pela superfície da Terra e por gases e partículas presentes na troposfera. Uma vez que a luz é observada na gama do infravermelho do espectro eletromagnético, TES pode realizar medições durante as 24 horas do dia ^[105].

O princípio básico da FTIR é dividir e recombinar um feixe de luz, de modo a que se crie um padrão de interferência dependente do comprimento de onda. Como já referido, todas as substâncias cuja temperatura é superior ao zero absoluto emitem radiação infravermelha em certos comprimentos de onda. Os comprimentos de onda de emissão da atmosfera da Terra é variável de acordo com fatores como a espessura das nuvens, a concentração de gases ou partículas, que absorvem e emitem energia infravermelha, e ainda pelas pressões e temperaturas. Os comprimentos de onda de emissão variam com a temperatura e pressão, e estes dois fatores variam de acordo com a altitude. Assim, uma vez que a resolução espectral do satélite é muito elevada, sendo possível obter espectros bastante precisos, torna-se viável concluir acerca da altitude das diferentes espécies químicas. Esta capacidade de determinar a altura dos produtos químicos analisados permite que o satélite distinga a radiação da atmosfera superior da radiação da atmosfera inferior, podendo concentrar-se na camada mais baixa, ou seja, na troposfera ^[105].

TES realiza medições da radiação infravermelha, usada para derivar a distribuição vertical de gases considerados relevantes devido às suas características poluentes. A importância que é dada a esses gases está relacionada com o seu potencial efeito de estufa, com o facto de interagirem com os seres vivos e por se verificarem trocas gasosas entre a troposfera e a estratosfera. Valores relativos a perfis de ozono, temperatura atmosférica, concentrações de vapor de água e vapor de água deuterada, monóxido de carbono e metano, ácido nítrico, pressão eficaz nas nuvens e profundidade ótica, temperatura da superfície terrestre e emissividade, são todos derivados do espectro TES. As medições são feitas e mapeadas em três dimensões – latitude, longitude e altitude. O satélite avalia ainda a variação das concentrações ao longo do tempo, a uma escala global, regional e local ^[105].

5.1.1.2. Rede de Satélites NOAA

Nos últimos 50 anos, os satélites da rede NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) têm desempenhado um papel muito importante. Em cooperação com a NASA, NOAA desenvolveu satélites com capacidades cada vez mais avançadas, que fornecem uma grande quantidade de dados, com imagens com resolução espacial e temporal, sondagens operacionais, temperatura, humidade, e outras condições atmosféricas e meteorológicas. Se há 50 anos atrás os satélites da rede NOAA eram apenas satélites meteorológicos, a evolução a que foram sujeitos tornou-os satélites ambientais. São usados dois tipos de satélites ambientais operacionais: satélites geoestacionários (GOES, do inglês Geostationary Operational Environmental Satellite) e satélites de órbita polar (POES, do inglês Polar Operational Environmental Satellite). Para uma rede completa no tempo e no espaço, são necessários os dois tipos de satélites. Os dados obtidos são usados para aplicações envolvendo oceanos, regiões costeiras, agricultura, deteção de incêndios florestais, deteção de cinzas vulcânicas, monitorização da camada de ozono e do ambiente espacial [105, 107].

O sistema por satélites POES tem a vantagem de cobrir global e diariamente, com órbitas quase polares 14 vezes ao dia, cerca de 520 km acima da superfície da Terra. Uma parceria concretizada entre a NOAA e a Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT, do inglês European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), mantém a operar constantemente dois satélites de órbita polar, um POES e um satélite de órbita polar europeu, chamado MetOp (Meteorological Operational). O sistema POES inclui um AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) e um ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder). A EUMETSAT providencia um instrumento, MHS (Microwave Humidity Sounder), que completa o ATOVS. O sistema POES providencia dados na gama do visível, do infravermelho e das micro-ondas, que podem ser usados numa grande variedade de aplicações, como por exemplo, monitorização das nuvens e precipitação, determinação de propriedades da superfície e perfil de humidade. Os dados obtidos por este satélite permitem a monitorização ambiental, análise e previsões meteorológicas, pesquisas climáticas, medições da temperatura da superfície do mar, sondagens atmosféricas de temperatura e humidade, pesquisas dinâmicas dos oceanos, monitorização de erupções vulcânicas, deteção de incêndios florestais, análise global da vegetação, colaboração com operações de busca e salvamento, entre outras aplicações [107].

Os satélites GOES circulam numa órbita geoestacionária, a uma velocidade correspondente à rotação da Terra, permitindo um monitoramento contínuo, necessário a uma análise de dados

intensiva. Em situações climáticas críticas, como o são os tornados e as tempestades de granizo, GOES é capaz de monitorizar o seu desenvolvimento e rastrear os seus movimentos. As imagens de satélite obtidas são ainda usadas para estimar as chuvas durante essas situações e ainda para estimar ocorrências de neve, apurando a extensão total que ficará coberta. Todos os dados captados por este sistema auxiliam na emissão de avisos de tempestades e outros alertas, detetam campos de gelo e mapeiam movimentos do mar e do lago de gelo ^[107].

Os dados reunidos por este sistema que permitem o mapeamento, dos incêndios florestais ativos apresentam-se na seguinte forma:

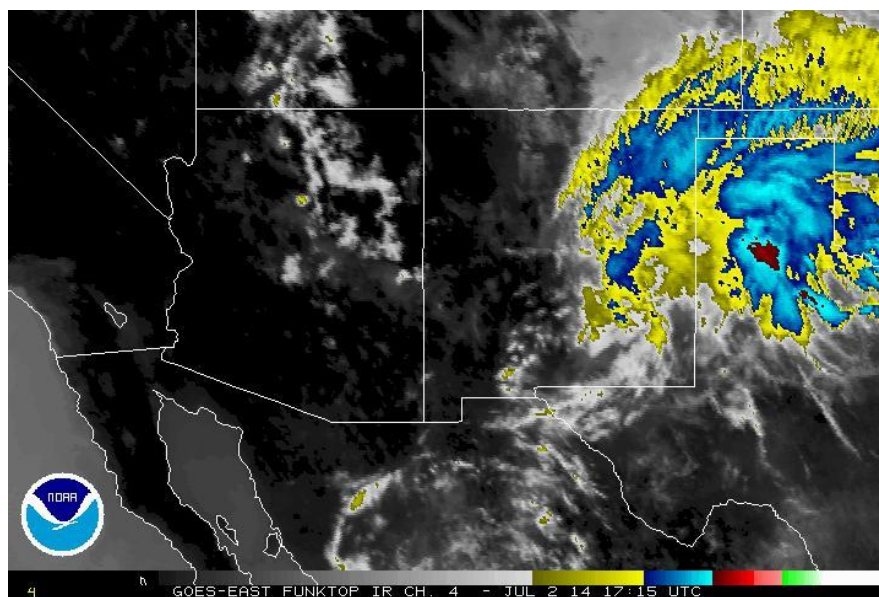


Figura 5.3 – Imagem fornecida pelos satélites NOAA, obtida por infravermelho ^[107].

5.1.2. Princípios de espectroscopia de infravermelho

O sol emite cerca de 60% da sua radiação na faixa do infravermelho, resultante da agitação térmica das partículas. Os raios infravermelhos desempenham um papel muito importante na Natureza uma vez que são os responsáveis pelas trocas de energia térmica.

A espectroscopia de infravermelho é uma das mais importantes técnicas analíticas disponíveis. Uma das grandes vantagens do método é a diversidade de análises que podem ser feitas ^[108]: líquidos, soluções, pós, fibras, gases, superfícies...

Esta técnica baseia-se na vibração dos átomos das moléculas ^[108], analisando as variações de energia molecular associadas à absorção ou emissão de um fóton, cuja energia não é suficiente

para provocar uma transição eletrônica ^[109]. A energia de um fóton pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

na qual h corresponde à constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J·s), ν à frequência de transição, c é a velocidade da luz no vácuo ($2,998 \times 10^8$ m·s⁻¹) e λ corresponde ao comprimento de onda. A região espectral correspondente ao infravermelho pode ser dividida em três zonas distintas, como indicado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Zonas de infravermelho, de acordo com a ISO 20473.

Designação	Abreviatura	Comprimento de onda (λ)
Infravermelho próximo	NIR (do inglês, near infrared)	0,78 – 3 μ m
Infravermelho médio	MIR (do inglês, mid infrared)	3 – 50 μ m
Infravermelho distante	FIR (do inglês, far infrared)	50 – 100 μ m

Quando a temperatura é superior ao zero absoluto, todos os átomos apresentam vibração contínua. A molécula absorve a radiação infravermelha que lhe é dirigida quando a sua vibração específica se torna igual à frequência da radiação ^[108].

Cada átomo tem três graus de liberdade, pelo que se podem mover em cada um dos três eixos cartesianos. Uma molécula poliatômica tem, no total, $3n$ graus de liberdade. Três graus de liberdade correspondem à movimentação da molécula no espaço e outros três correspondem à rotação da molécula. Restam $3n - 6$ graus de liberdade, que dizem respeito às vibrações fundamentais da molécula. Cada composto apresenta um espectro de infravermelho, de acordo com as vibrações das suas moléculas. A radiação infravermelha absorvida pela molécula é convertida em vibração.

5.1.3. Regiões espectrais úteis para deteção de incêndios florestais

A região infravermelha do espectro eletromagnético é considerada a mais adequada para a deteção e monitorização de incêndios. A banda correspondente ao infravermelho médio produz um sinal muito forte na presença de temperaturas elevadas, tornando esta faixa adequada para a deteção de incêndios. A lei de deslocamento de Wien estabelece uma relação inversa entre a temperatura de um corpo negro e comprimento de onda na qual tem o seu pico de emissão. A lei pode ser descrita pela equação apresentada de seguida, em que λ representa o comprimento de

onda em que a radiação é máxima, em μm , T representa a temperatura absoluta em graus Kelvin, e 2898 corresponde à constante de deslocamento de Wien, em μm [110].

$$\lambda_{\text{maximo}} = \frac{2898}{T}$$

Na detecção de incêndios florestais tem interesse conhecer as bandas que correspondem a transmissões atmosféricas (Figura 5.3). Chama-se janelas atmosféricas às bandas do espectro em que não se verifica a ocorrência de processos de absorção significativos e elevada transmissão de energia. Na região do infravermelho médio, as janelas atmosféricas, consideradas úteis para a detecção de incêndios florestais, estão localizadas entre 3 e 5 μm e entre 8 e 12 μm [110].

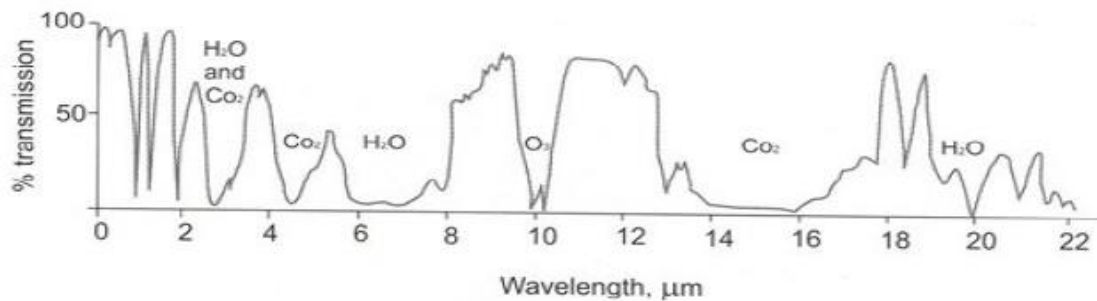


Figura 5.4 – Transmissões atmosféricas [111].

Cada gás poluente tem um espectro de absorção característico. O dióxido de carbono apenas absorve na região de infravermelho. A Figura 5.4 mostra o espectro de absorção de infravermelho de CO_2 , entre 0 e 5,2 μm . A absorção de dióxido de carbono apresenta-se máxima para um comprimento de onda igual a 4,24 μm .

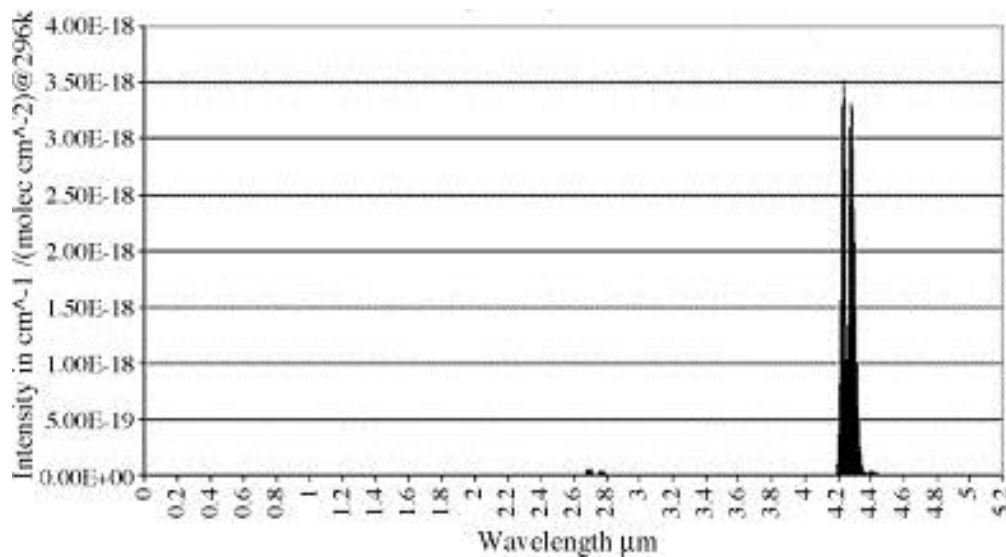
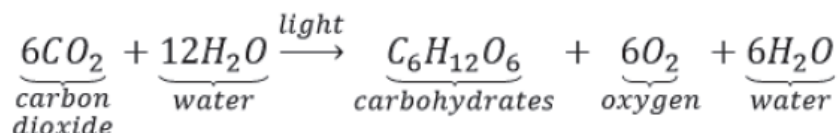


Figura 5.5 – Espectro de absorção de infravermelho de dióxido de carbono [112].

5.1.4. Fundamentos da fotossíntese

A fotossíntese define-se como o processo físico-químico através do qual as plantas, algas e bactérias fotossintéticas utilizam luz solar para a síntese de compostos orgânicos. É transformado dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) em matéria orgânica, na presença de luz solar, libertando oxigénio (O_2), de acordo com a seguinte equação ^[113]:



Nas plantas verdes, o processo ocorre nos cloroplastos. A reação inicia-se com a transformação da luz em energia, H_2O , adenosina difosfato (ADP) e fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina (NADP^+), em O_2 , adenosina trifosfato (ATP) e fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina (NADP^+) ^[113].

A fotossíntese fornece a energia e o carbono reduzido necessários à sobrevivência de praticamente toda a vida no nosso planeta, assim como o oxigénio molecular necessário à sobrevivência. Os combustíveis fósseis existentes atualmente, utilizados para fornecer energia para a atividade humana, foram produzidos por organismos fotossintéticos antigos. A cada ano, mais de 10% do total de dióxido de carbono atmosférico é reduzido a hidratos de carbono, através de processos fotossintéticos. A maioria do carbono é reduzido e devolvido à atmosfera, através do metabolismo microbiano, vegetal ou animal, e por combustão da biomassa. Os oceanos tentam mitigar o aumento de carbono na atmosfera, funcionando como sumidouro de CO_2 atmosférico, armazenando-o no seu fundo. É certo que a concentração de CO_2 global está a aumentar. Ao longo dos últimos duzentos anos estimando-se que o CO_2 na atmosfera tenha aumentado de 280 ppm para o valor atual de cerca de 360 ppm. Com base nos atuais consumos de combustíveis fósseis e gestão da terra estima-se que, durante o próximo século, a concentração de CO_2 na atmosfera possa atingir 700 ppm. As consequências deste facto, sendo um gás com efeito de estufa, possivelmente refletir-se-ão num considerável aumento da temperatura, o que conduzirá a alterações nos padrões de chuva. No entanto, não são conhecidos os impactes que tais mudanças atmosféricas e climáticas drásticas terão ^[114].

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. O sensor e o *software*

A espectroscopia de infravermelho é uma técnica de detecção remota, não destrutiva, bastante usada em aplicações ambientais devido à grande diversidade de moléculas que é capaz de analisar apenas conhecendo os comprimentos de onda em que interferem. Existem câmaras e sensores que usam esta tecnologia, sendo que as câmaras são comumente usadas para aplicações termográficas, enquanto os sensores podem ser usados para detetar composições gasosas. O funcionamento de um sensor de infravermelho pode acontecer de duas formas distintas: através de um filtro ótico, que apenas permite a passagem de comprimentos de onda específicos pré-definidos, sendo medida a intensidade da luz recebida, ou utilizando a chamada transformada de Fourier, onde a intensidade é medida numa banda considerável de comprimentos de onda e, posteriormente, os dados são processados e analisados e é determinada a quantidade de luz absorvida por cada comprimento de onda. O sensor utilizado neste trabalho funciona com filtros óticos, conhecendo os espectros de infravermelho dos compostos a analisar é possível seleccionar o comprimento de onda pretendido e analisar, por fim, a concentração do composto químico em estudo.

O *software* permite a calibração automática do sensor, o controlo da fonte de infravermelho e a alteração de algumas características, como a frequência de medição e o tempo de estabilização. A cada comprimento de onda corresponde uma voltagem de controlo. O comprimento de onda encontra-se expresso em nm e a amplitude do sinal registado em mV. A medição de pontos pode ser feita em diversos modos, sendo que os mais relevantes para este trabalho experimental foram: o modo *scan*, que permite a obtenção de pontos num determinado intervalo de comprimentos de onda (de 3900 nm a 5060 nm), e o modo de sequência, que permite a seleção de um máximo de dez comprimentos de onda onde serão medidos valores de forma contínua.

5.2.2. Metodologia adotada

Uma vez que o objetivo global desta dissertação passa pelo desenvolvimento de um sistema de detecção precoce e monitorização de incêndios florestais que utilize espectroscopia de infravermelho para detecção de CO₂, foram realizados diversos ensaios que serão descritos neste subcapítulo.

5.2.2.1. Avaliação do comprimento de onda a utilizar

Conhecidos os conceitos teóricos relativos à deteção de CO₂ por infravermelho, afigurou-se importante apurar se os comprimentos de onda teóricos seriam aplicáveis no trabalho desenvolvido, pelo que ao longo de 24 horas se efetuaram medições, de duas em duas horas, em modo *scan*, avaliando-se a reação do sensor, distanciado 7 cm da árvore, na banda de comprimentos de onda compreendida entre 3900 nm e 5060 nm.

5.2.2.2. Ciclos de 24 horas

Um sensor que detete e monitorize incêndios florestais pode ter outras utilidades, nomeadamente a análise de alguns parâmetros relativos à própria vegetação. Por outro lado, o funcionamento do sensor com o objetivo de detetar precocemente um incêndio florestal envolve a identificação de variações de CO₂. Assim, e uma vez que o processo de fotossíntese envolve o consumo de CO₂ com libertação de O₂, torna-se importante conhecer a variação da concentração de CO₂ ao longo do dia. Para tal, efetuaram-se alguns ciclos de 24 horas, em comprimentos de onda definidos, em dias com diferentes condições meteorológicas, analisando-se posteriormente a reação do sensor.

5.2.2.3. Influência da altura do sensor em relação à árvore

Quando aplicado o sensor a uma situação real, o mesmo estará localizado acima da copa da árvore, pelo que se afigurou relevante perceber se a altura do sensor em relação à árvore teria influência significativa nos resultados, nos comprimentos de onda com importância para o trabalho realizado. Em modo *scan*, realizaram-se medições a diferentes altitudes, como indicado no esquema da figura seguinte, analisando-se posteriormente os resultados que permitem concluir se nos comprimentos de onda relevantes para o trabalho realizado a altura a que o sensor estava colocado em relação à árvore é, ou não, um fator relevante.

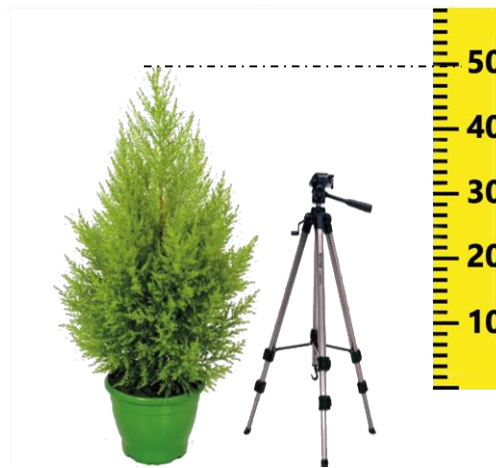


Figura 5.6 – Representação esquemática da medição efetuada para estudar a influência da altura do sensor em relação à árvore.

Como pode ser observado na Figura 5.5, o valor de 50 cm corresponde à copa da árvore utilizada para as medições. O sensor foi colocado à altura de 50, 40, 30, 20 e 10 cm.

5.2.2.4. Influência da humidade

A humidade, atmosférica e da vegetação, é um fator que influencia os incêndios florestais. No sentido de estudar a influência da humidade atmosférica nos dados registados pelo sensor e para avaliar se a humidade pode, ou não, interferir enquanto falso alarme na função que o sensor desempenhará, foi fervida água que arrefeceu na presença do sensor, como pode ser observado no esquema da Figura 5.6. O sensor funcionou em modo de sequência, nos valores seleccionados.



Figura 5.7 – Representação esquemática para avaliação da influência da humidade.

5.2.2.5. Influência do vento

O vento é um fator atmosférico pelo que não é controlável pelo Homem, logo torna-se importante perceber se, neste tipo de sensor, a sua influência é, ou não, registada. Para tal, utilizou-se uma ventoinha, enquanto o sensor funcionava em modo de sequência.



Figura 5.8 – Representação esquemática do ensaio realizado para testar a influência do vento.

5.2.2.6. Distância do sensor à chama

O alcance de um sensor é maior consoante a lente que lhe é aplicada. Neste caso, o sensor funciona sem qualquer componente extra. Uma vez que é importante perceber o seu alcance, testou-se a sua reação à chama, a diferentes distâncias. Para tal, utilizou-se uma vela que foi colocada a diferentes distâncias do sensor. A Figura que se segue representa esquematicamente a situação descrita.

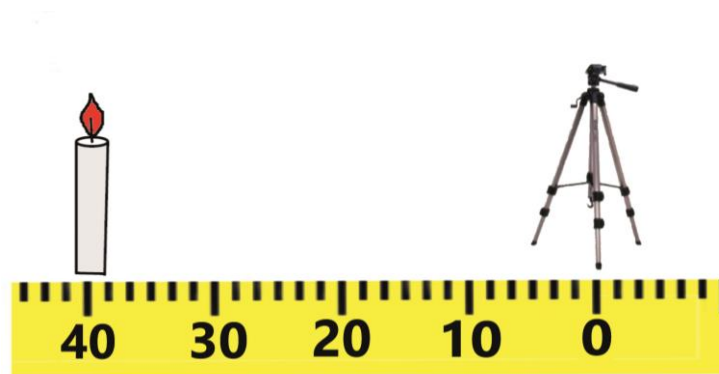


Figura 5.9 – Representação esquemática do ensaio realizado a diferentes distâncias da chama

A vela foi colocada às distâncias de 40, 35, 25, 20, 15 e 10 cm do sensor, que funcionou em modo scan entre os comprimentos de onda de 3900 nm e 5060 nm.

Importa referir que esta situação contribui também para apurar se o comprimento de onda selecionado para o funcionamento do sensor é o adequado.

5.2.2.7. Simulação de incêndio florestal

Uma vez que o objetivo do sensor é a detecção de incêndios florestais, testou-se a reação do sensor à presença da chama utilizando-se mais do que uma chama, com o objetivo de fazer variar a intensidade da mesma, e, por último, simulou-se, em pequena escala, utilizando biomassa florestal (seca e fresca) a situação de ignição e extinção, analisando-se posteriormente os resultados obtidos para cada comprimento de onda.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.3.1. Avaliação do comprimento de onda a utilizar

As Figuras que se seguem são uma representação gráfica do sinal captado pelo sensor no intervalo de comprimentos de onda definido.

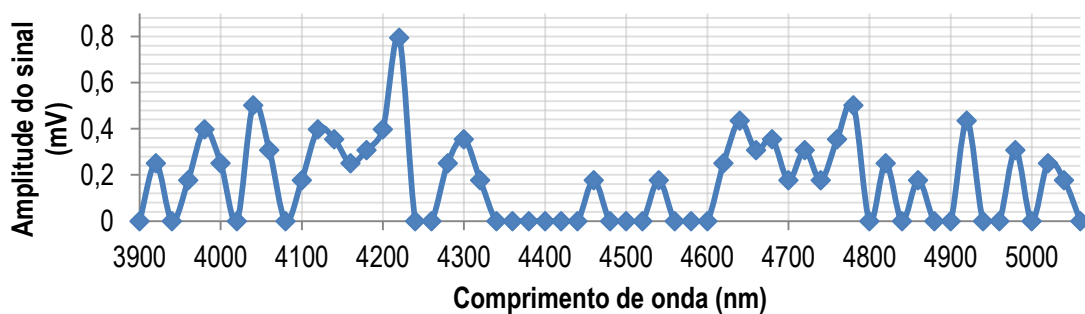


Figura 5.10 – Scan às 00h.

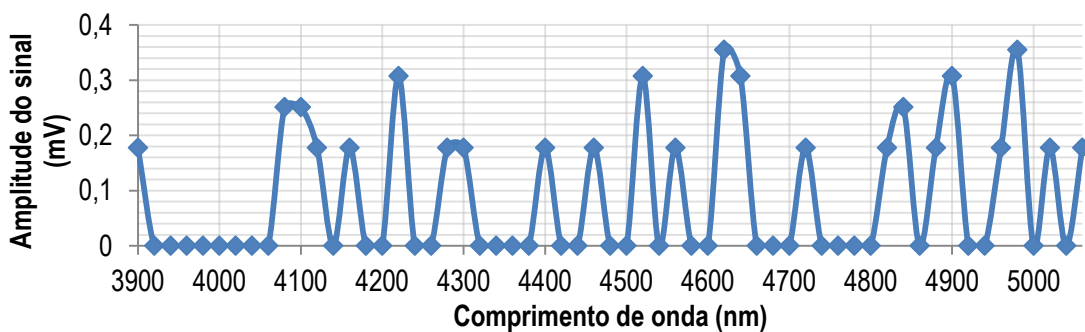


Figura 5.11 – Scan às 02h.

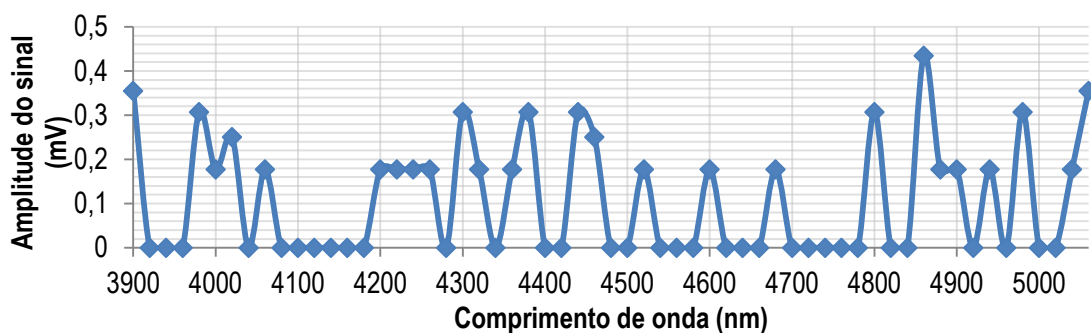


Figura 5.12 – Scan às 04h.

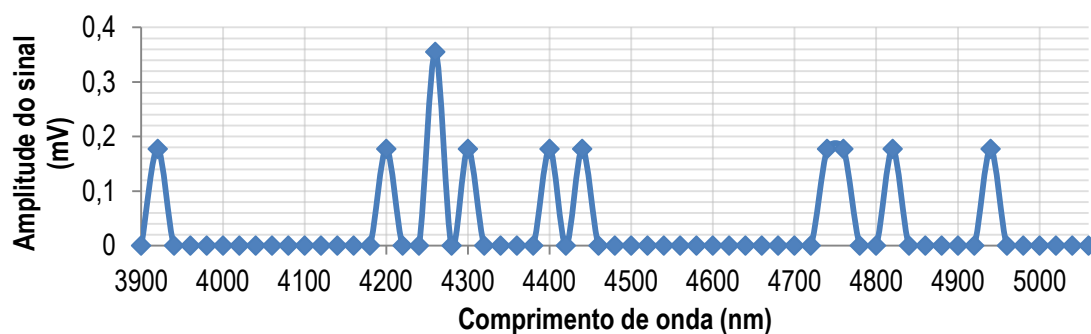


Figura 5.13 – Scan às 06h.

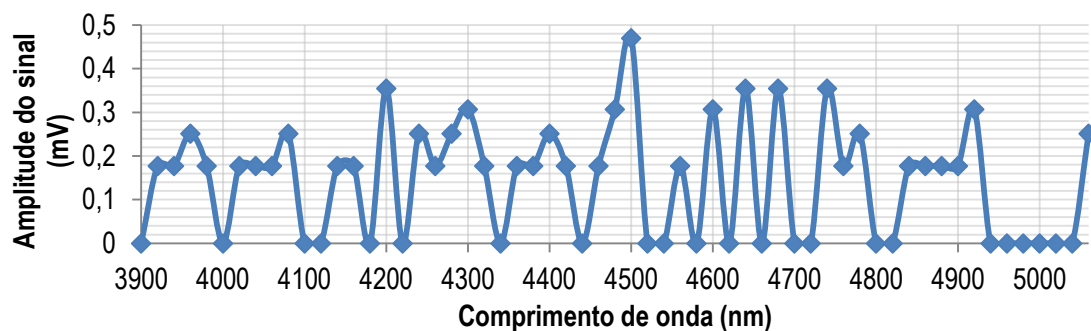


Figura 5.14 – Scan às 8h.

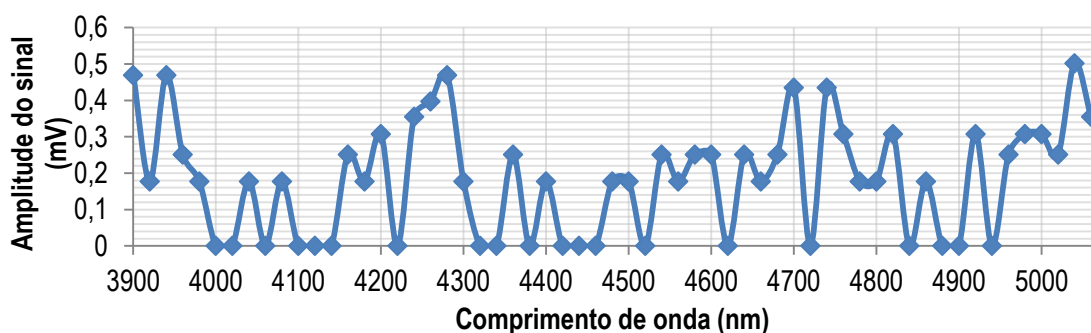


Figura 5.15 – Scan às 10h.

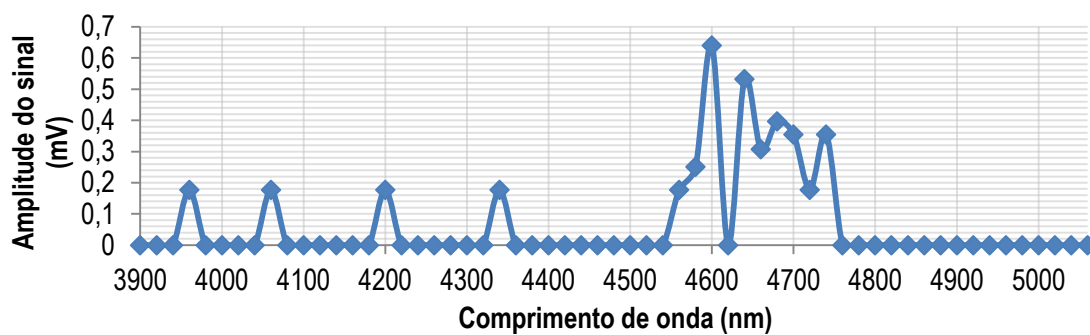


Figura 5.16 – Scan às 12h.

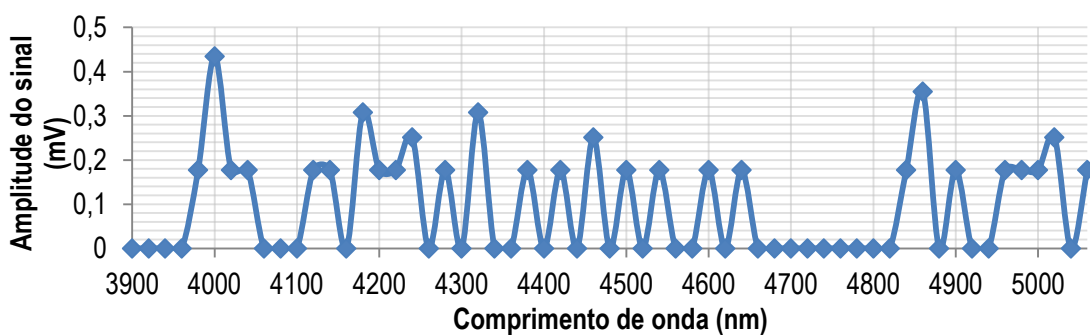


Figura 5.17 – Scan às 14h.

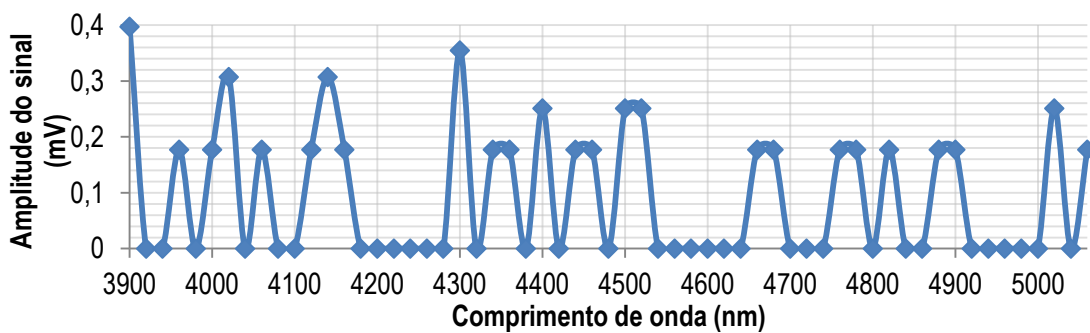


Figura 5.18 – Scan às 16h.

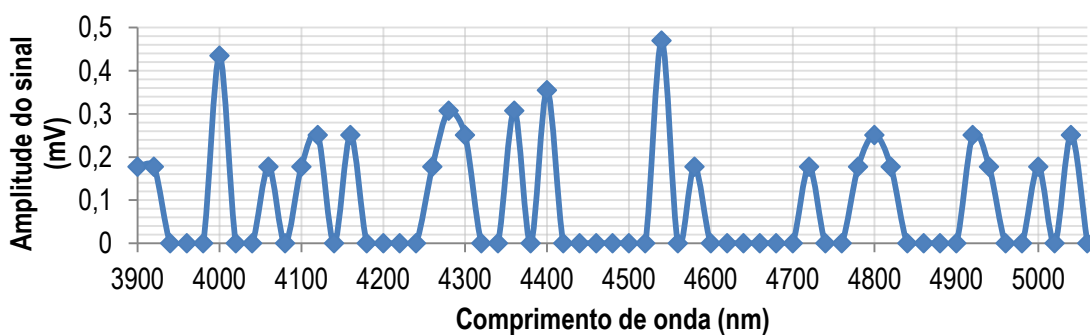


Figura 5.19 – Scan às 18h.

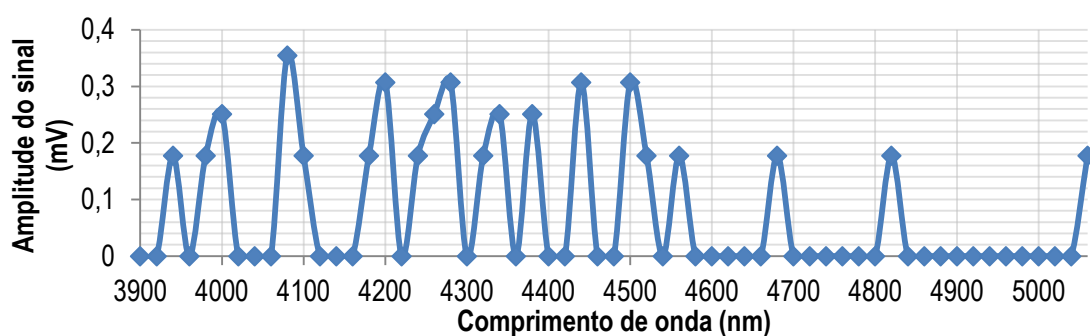


Figura 5.20 – Scan às 20h.

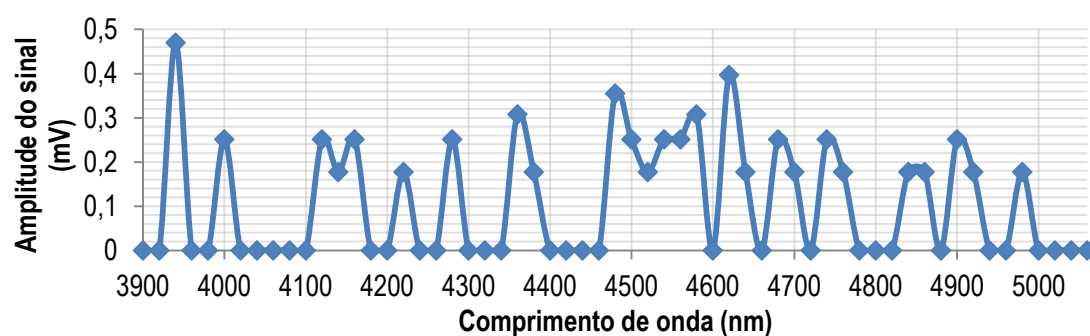


Figura 5.21 – Scan às 22h.

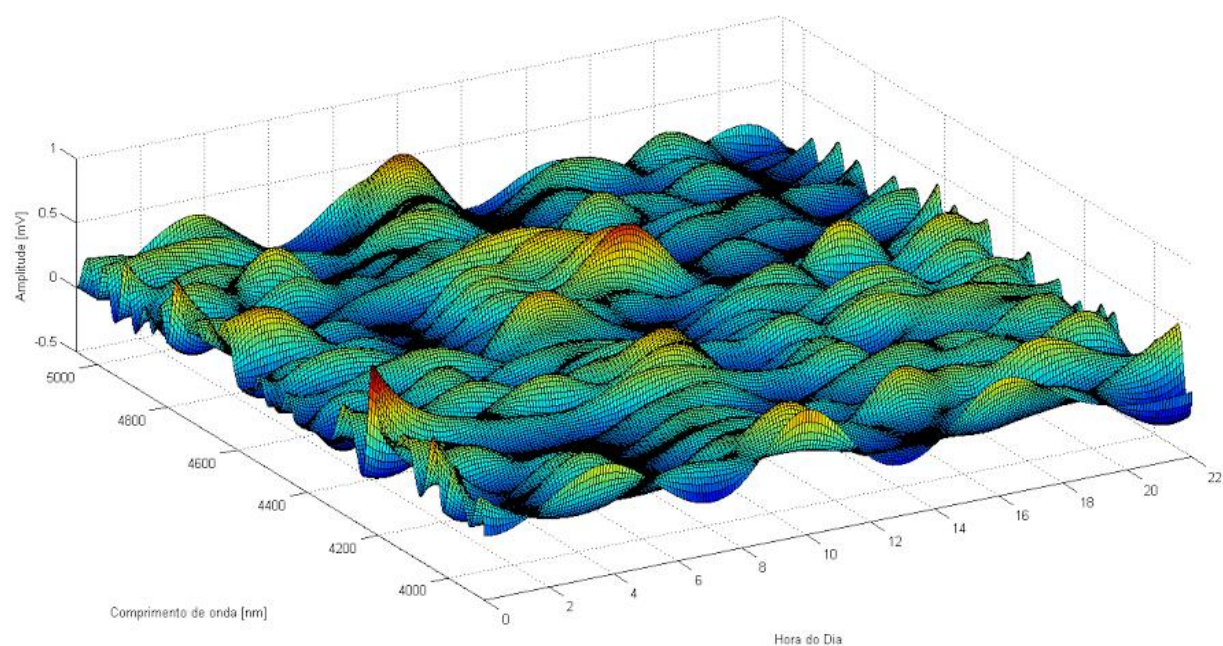


Figura 5.22 – Representação gráfica 3D das medições efetuadas.

Como indicado no subcapítulo 5.1.3., a região na gama do infravermelho mais indicada para deteção de dióxido de carbono situa-se aproximadamente entre 4200 e 4400 nm, pelo que

observando os gráficos de cada hora, verifica-se a detecção de sinal nesse intervalo. Caso se pretenda utilizar o mesmo sensor para outras aplicações, com o objetivo de, por exemplo, detetar outras substâncias, outros comprimentos de onda podem ser seleccionados. Por não ser viável um gráfico a duas dimensões para comparação de todos os resultados representou-se os dados num gráfico tridimensional. É possível observar algumas gamas em que a variação é considerável (4200 a 4400 nm, 4600 a 4800 nm e acima dos 5000 nm). É expectável que a variação verificada na gama 4200 a 4400 nm esteja relacionada com as diferentes concentrações de CO_2 . Os ensaios feitos em modo de sequência serão realizados para os comprimentos de onda de 4200 e 4300 nm.

5.3.2. Ciclos de 24 horas

Ao longo do dia, as plantas realizam fotossíntese: consumindo CO_2 e libertando O_2 , durante o dia, e fazendo o contrário, durante a noite (Figura 5.23). A variação teórica do CO_2 e do O_2 é a observável na Figura 5.24.

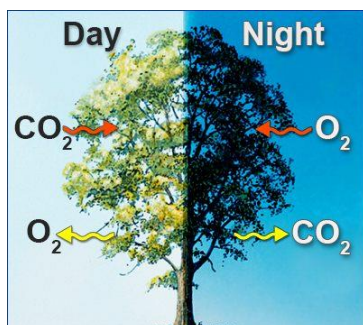


Figura 5.23 – Fotossíntese.

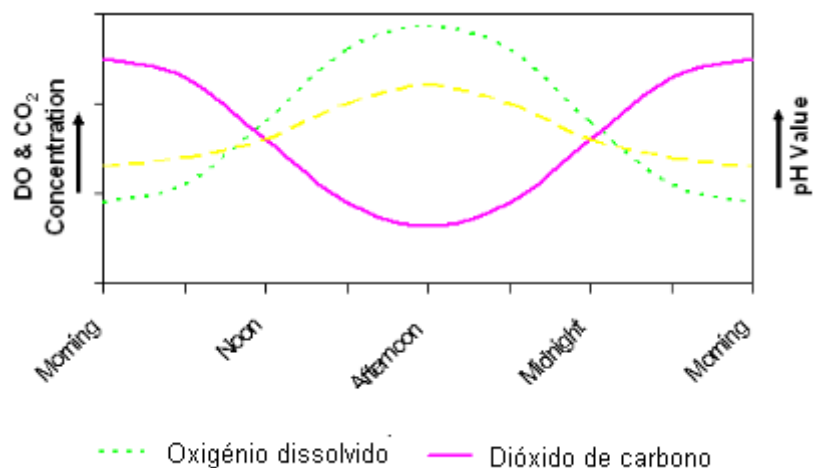


Figura 5.24 – Variação teórica de CO_2 e O_2 .

Foram medidos ciclos de 24 horas ao longo de quatro dias consecutivos. As figuras que se seguem apresentam graficamente os resultados obtidos.

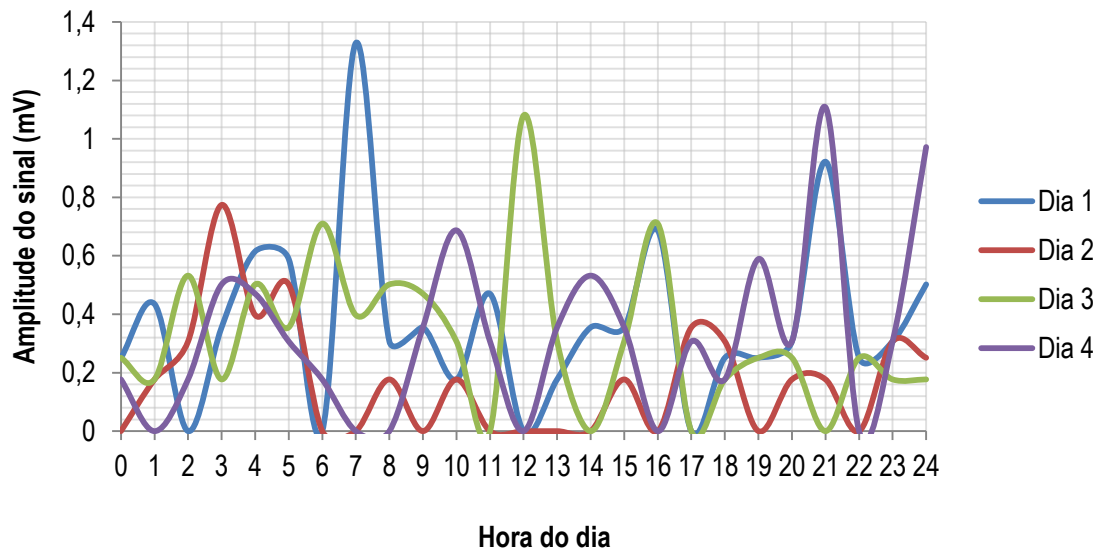


Figura 5.25 – Ciclos de 24horas, medições a 4200nm.

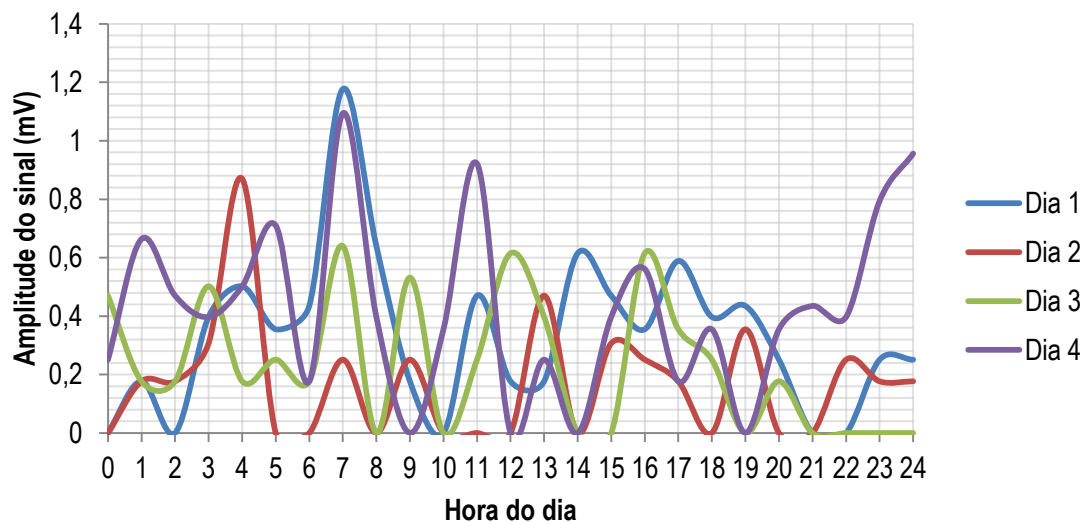


Figura 5.26 – Ciclos de 24horas, medições a 4300nm.

Observando a representação gráfica dos resultados, verifica-se que a variação do sinal é diferente de dia para dia. Este resultado pode estar relacionado com interferências exteriores, como por exemplo o tráfego, que contribui para as variações da concentração de CO_2 . Para a calibração do sensor e obtenção de um padrão diário de variação do sinal, independente da meteorologia de cada dia, seria necessário realizar medições 24 horas sob 24 horas durante longos períodos, superiores a seis meses, e identificar todos os fatores que interferem com o valor do sinal, para que seja possível eliminar as ditas interferências, obtendo um sinal “limpo”.

5.3.3. Influência da altura do sensor em relação à árvore

Como descrito na metodologia, o sensor foi colocado a 20, 30, 40 e 50 cm da base da árvore, sendo que a altura máxima medida corresponde ao topo da árvore. Os resultados obtidos serão apresentados de seguida.

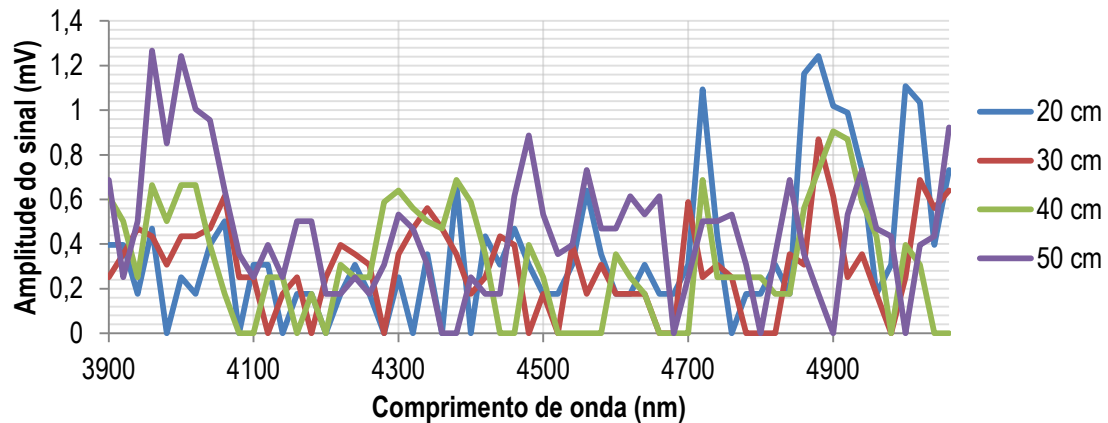


Figura 5.27 – Variação do sinal no estudo da influência da altura do sensor em relação à árvore.

É possível observar, pelos dados obtidos, comportamento semelhante na região com interesse.

5.3.4. Influência da humidade

A situação foi simulada (Figura 5.28) para dois comprimentos de onda: 4200 e 4300 nm. Os resultados obtidos apresentam-se nas Figura 5.29 e 5.30.



Figura 5.28 – Fotografia do ensaio que permite avaliar a influência da humidade.

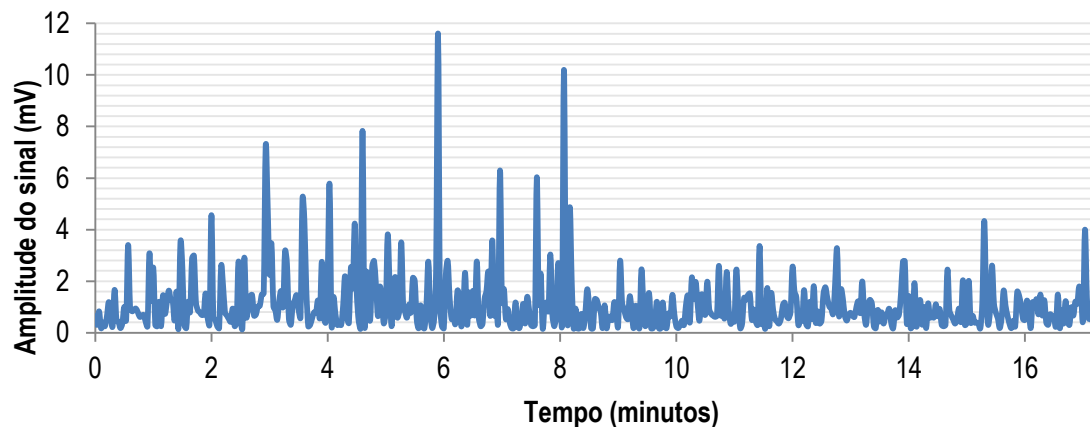


Figura 5.29 – Variação do sinal registrado para avaliar a influência da humidade, a 4200nm.

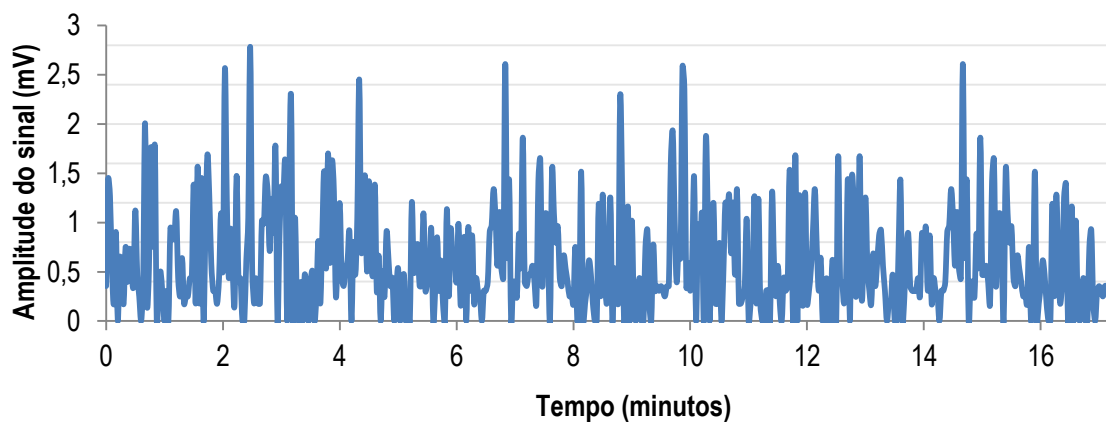


Figura 5.30 – Variação do sinal registrado para avaliar a influência da humidade, a 4300nm.

No comprimento de onda de 4200 nm, quando a água a ferver é colocada próximo do sensor, o valor do sinal aumenta, verificando-se a sua diminuição com o decorrer do tempo e consequente diminuição da temperatura da água e libertação de vapor de água. No comprimento de onda de 4300 nm a influência da humidade não é registada com valores significativos. No entanto, nem num comprimento nem no outro se pode considerar significativos os aumentos verificados, pelo que mesmo que numa situação real o *software* regista-se variações do sinal devido a vapor de água, nunca seriam significativas o suficiente para ser dado um falso alarme.

5.3.5. Influência do vento

Para testar a influência do vento, realizou-se primeiro um ensaio com a ventoinha desligada, que funciona como termo de comparação. Os resultados obtidos estão apresentados na forma de gráfico na figura que se segue.

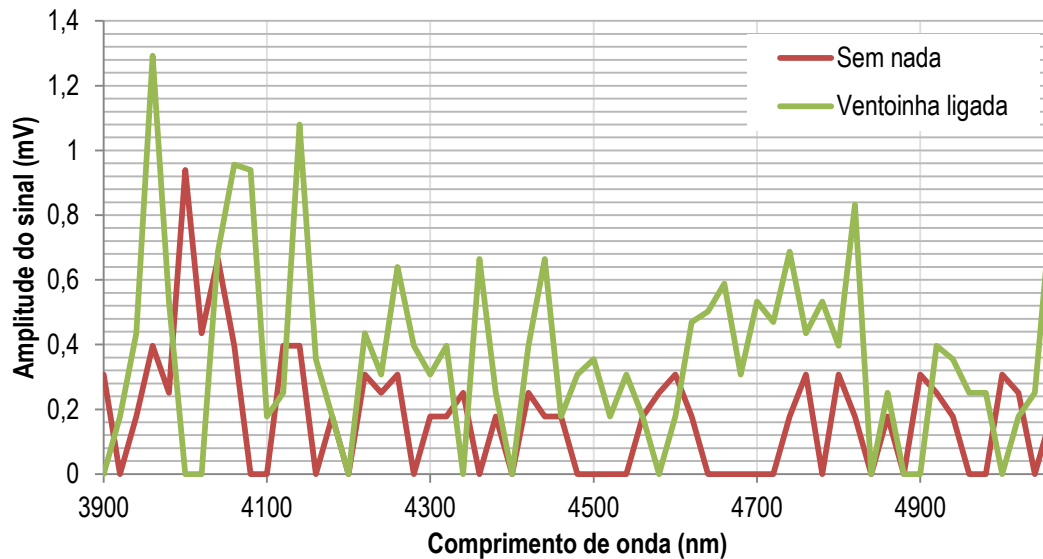


Figura 5.31 – Variação do sinal registado para avaliar a influência do vento.

Observando a Figura, é possível concluir que a corrente de ar interfere com os resultados. No entanto, o aumento que provoca no sinal não é considerado significativo e, numa situação real, dificilmente seria detetado um falso alarme por influência deste fator meteorológico.

5.3.6. Distância do sensor à chama

Os resultados obtidos neste ensaio são os observáveis nas figuras seguintes. Uma vez que quando o sensor está apenas a 10 cm da chama o valor registado é, logicamente, mais elevado que nas restantes distâncias, o primeiro gráfico corresponde às distâncias de 40, 30, 25, 20 e 15 cm e no segundo inclui-se os valores registados à distância de 10 cm.

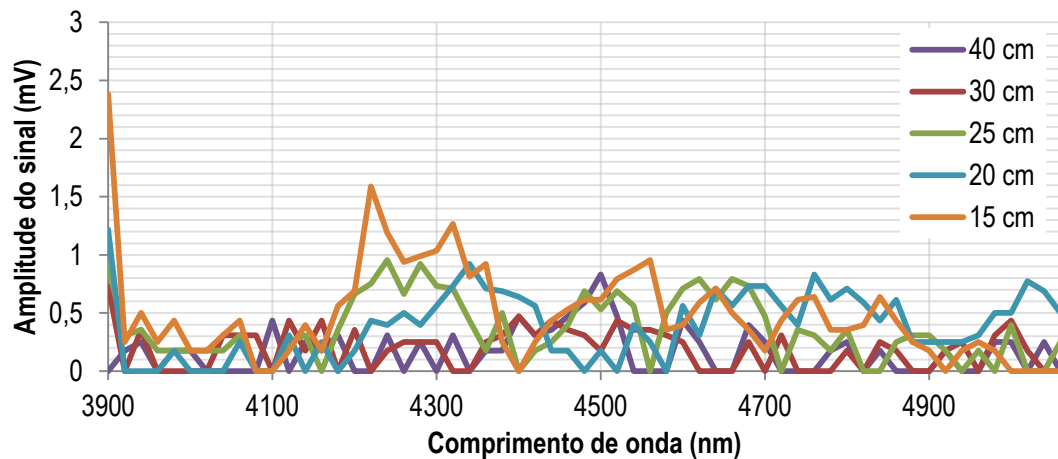


Figura 5.32 – Distância do sensor à chama: 40, 30, 20, 25, 20 e 15cm.

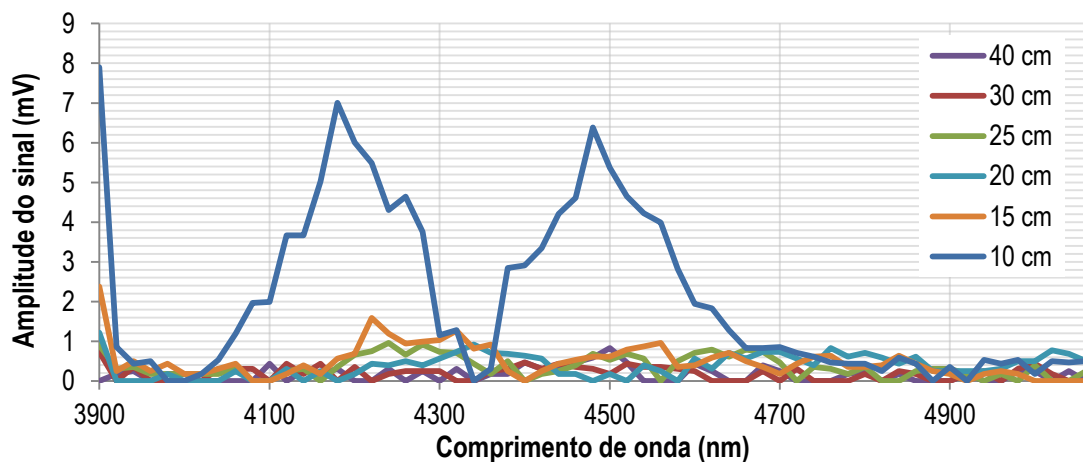


Figura 5.33 – Distância do sensor à chama: 40, 30, 20, 25, 20, 15 e 10cm.

Como é possível observar, na região onde se incluem os comprimentos de onda com interesse para o trabalho realizado, quanto mais perto a chama está do sensor, mais alto é o valor registado, pois mais elevada será a concentração de CO_2 . Quando o sensor está apenas a 10 cm da chama, o valor aumenta consideravelmente, sendo fácil identificar três picos de medição, situados, aos 3900 nm, aos 4180 nm e aos 4480 nm, pelo que de acordo com a substância que se pretende avaliar é possível seleccionar outros comprimentos de onda.

5.3.7. Simulação de incêndio florestal

5.3.7.1. Variação da intensidade da chama

Como descrito na metodologia, foi estudada a reação do sensor a intensidades diferentes de chama, como observado na Figura 5.34.

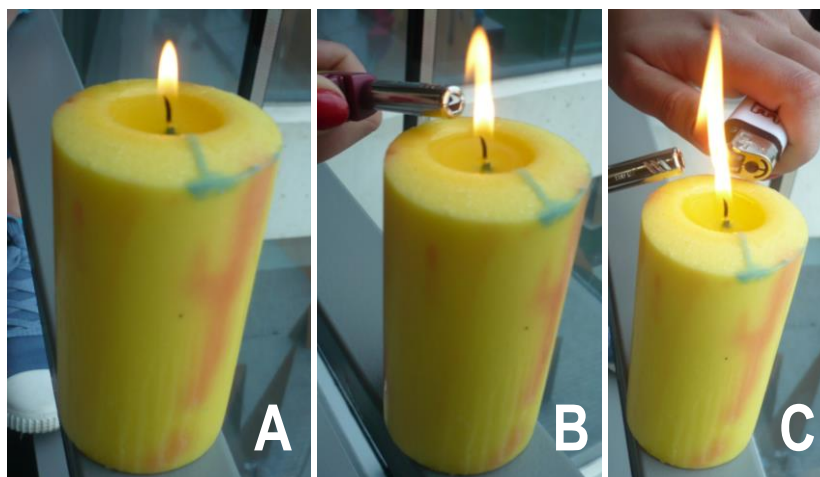


Figura 5.34 – Fotografias do ensaio para variação da intensidade da chama.

As duas figuras que se seguem apresentam os resultados obtidos para situação descrita, com valores registados nos comprimentos de onda de 4200 nm e 4300 nm.

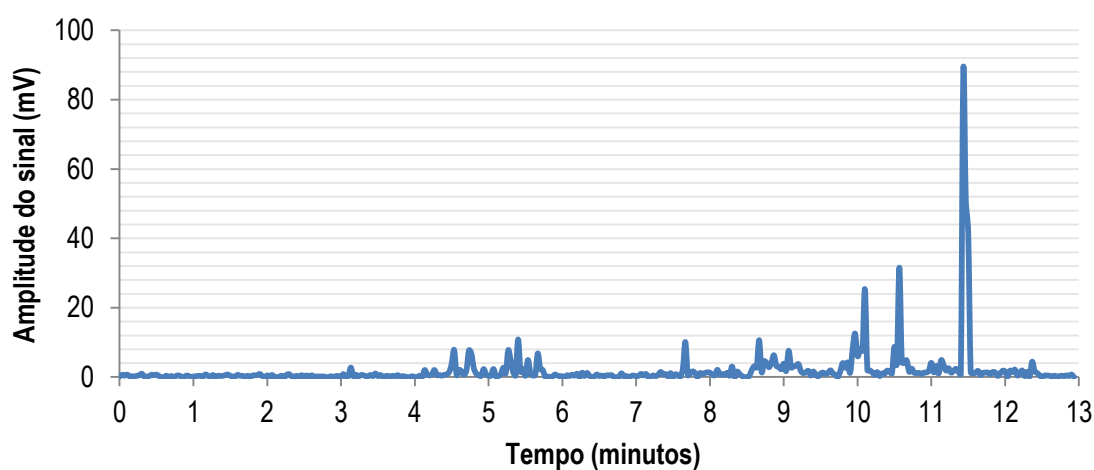


Figura 5.35 – Variação do sinal registado para variações da intensidade da chama, a 4200 nm.

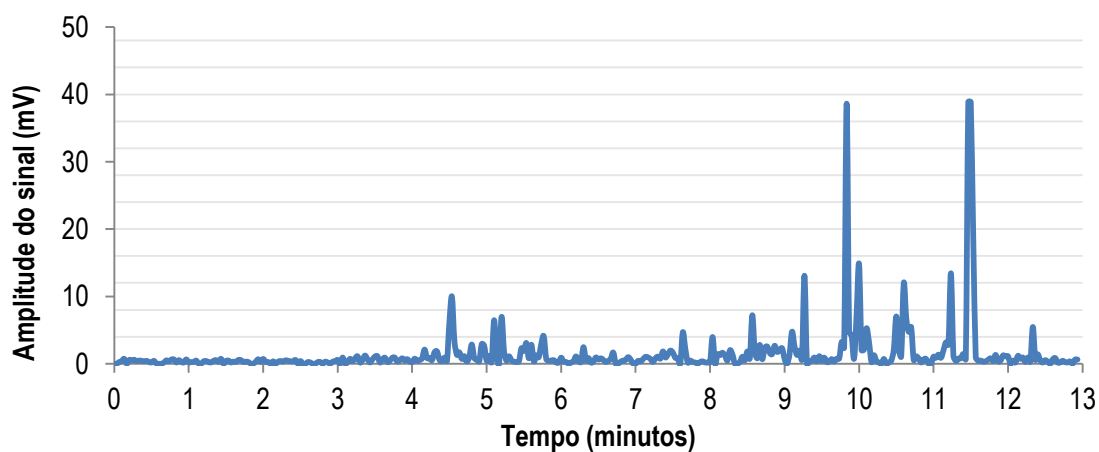


Figura 5.36 – Variação do sinal registado para variações da intensidade da chama, a 4300 nm.

Observando os gráficos das duas Figuras acima mencionadas, imediatamente é possível aferir que o registo dos dados a 4300 nm apresenta variações muito reduzidas e quase insignificantes quando observados os valores do sinal obtidos com comprimento de 4200 nm, pelo que o interesse em analisar os seus resultados se torna reduzido.

Analisando, então, a amplitude do sinal medida a 4200nm, é possível observar no gráfico três picos distintos. O sensor foi colocado em funcionamento sem a presença de qualquer fator que produzisse interferência significativa no valor registado pelo sensor, de seguida, acendeu-se a vela, como indica a 5.34 – A, a 20cm do sensor, verificando-se um aumento do sinal. De seguida a vela é afastada do sensor e novamente aproximada, pelo que se verifica que o sinal reduz, voltando a aumentar pouco depois. A vela é colocada a 10cm do sensor, verificando-se o primeiro pico observável no gráfico. Os dois picos seguintes correspondem às situações indicadas na Figura 5.34, em B e C, verificando-se, como esperado, que a amplitude do sinal é maior para intensidades de chama superiores. Por fim, verifica-se amplitudes de sinal próximas de zero, correspondendo este momento ao afastamento da vela e extinção da chama.

5.3.7.2. Biomassa seca

O sensor foi colocado em funcionamento na presença de biomassa florestal seca, tendo sido depois provocada a ignição e, por último, apagou-se a chama, como observável na Figura 5.37.

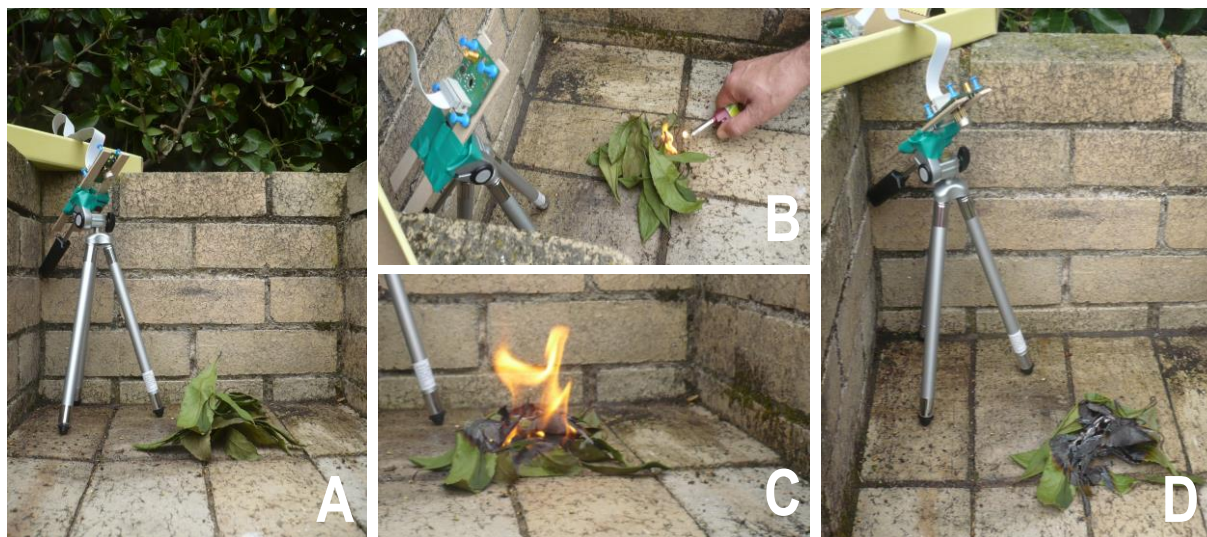


Figura 5.37 – Ensaio com biomassa seca.

O resultado obtido é apresentado de seguida, na forma gráfica, correspondendo a primeira figura a medições efetuadas no comprimento de onda de 4200 nm e a segunda no comprimento de onda de 4300 nm.

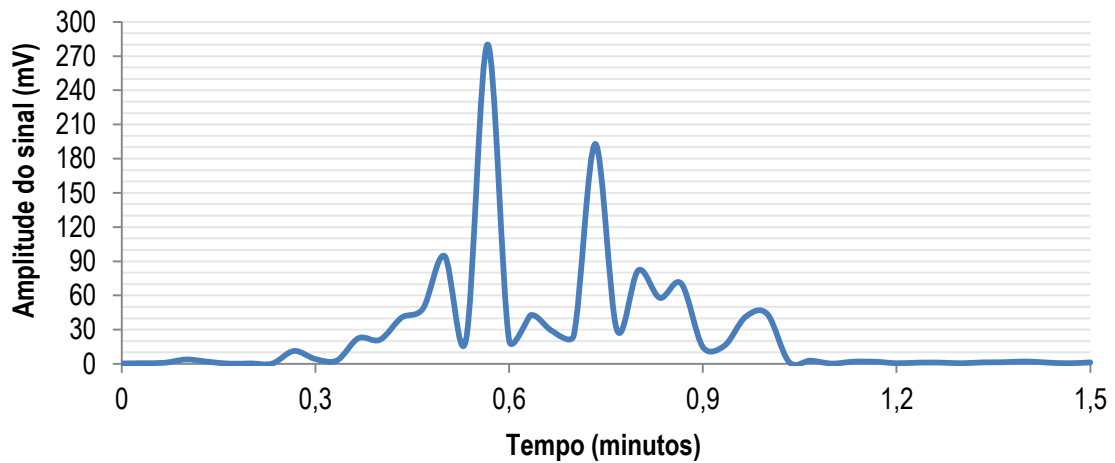


Figura 5.38 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa seca, a 4200 nm.

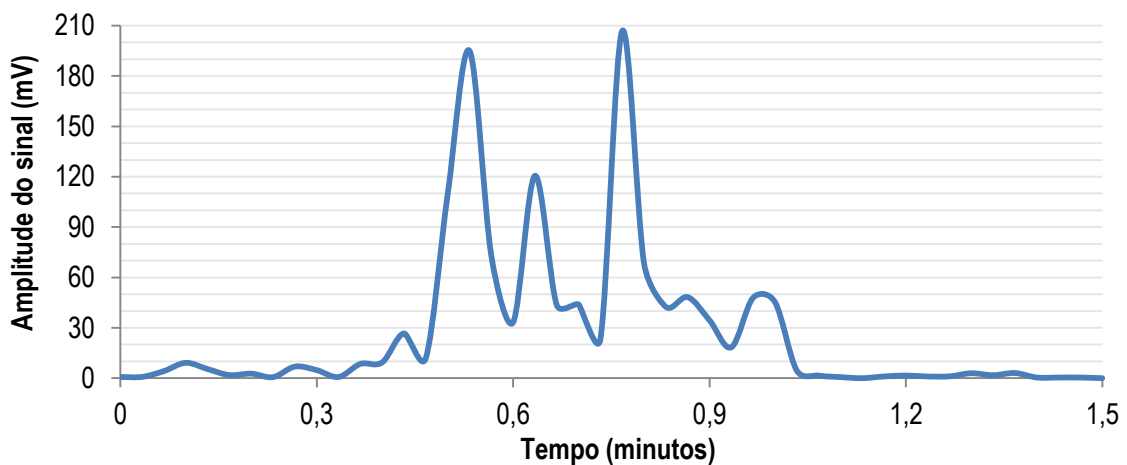


Figura 5.39 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa seca, a 4300 nm.

Observando os resultados gráficos é possível identificar valores próximos de zero nos instantes que antecedem a ignição (Figura 5.37 - A). No momento em que a ignição (Figura 5.37 - B) é detetada pelo sensor pois verifica-se um aumento contínuo do sinal registado, até atingir o valor máximo. A diminuição do sinal acontece quando a biomassa disponível para arder diminui (Figura 5.37 - C), até a chama se apagar (Figura 5.37 - D) e os valores registados voltarem a ser semelhantes aos registados antes do início da ignição. Mais uma vez, verifica-se que os valores registados são mais elevados para o comprimento de onda de 4200 nm.

5.3.7.3. Biomassa fresca

O sensor foi colocado em funcionamento na presença de biomassa florestal fresca, tendo sido depois provocada a ignição. As fotografias da sequência de momentos relevantes para o ensaio podem ser observadas na Figura 5.40.

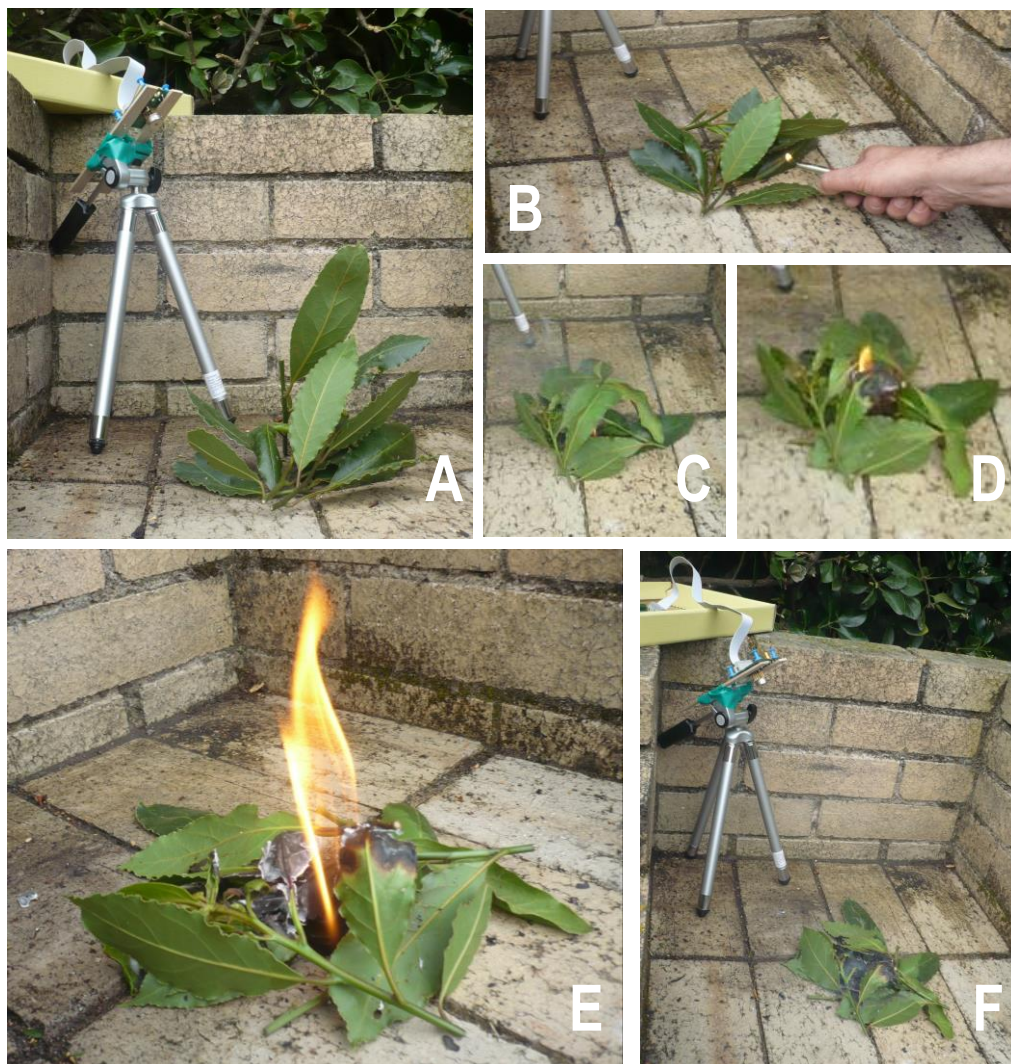


Figura 5.40 – Ensaio com biomassa fresca.

O resultado obtido é apresentado nas figuras seguintes, para os comprimentos de onda de 4200 nm e 4300 nm.

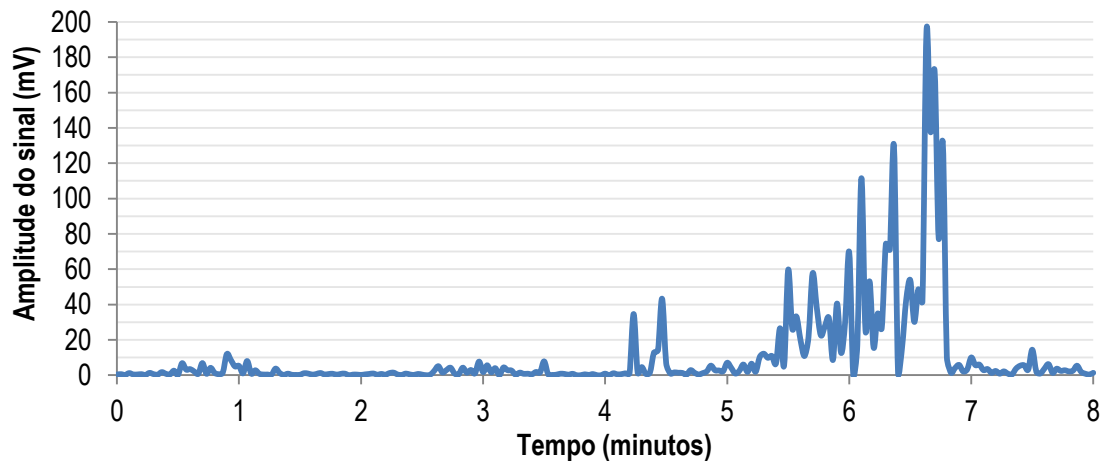


Figura 5.41 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa fresca, a 4200 nm.

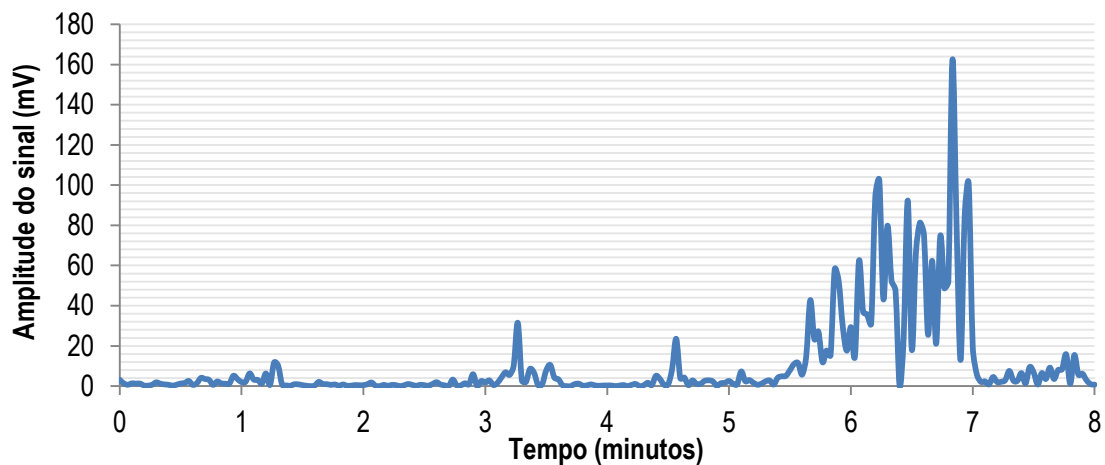


Figura 5.42 – Variação do sinal registado no ensaio com biomassa fresca, a 4300 nm.

Observando as figuras correspondentes aos resultados obtidos, pode concluir-se acerca de um aspeto muito relevante na realidade das florestas portuguesas e na problemática dos incêndios florestais: a biomassa fresca (árvores), ou seja, que tem uma humidade elevada, demora mais a começar a arder que a biomassa seca (mais combustível) e os valores registados são, de uma forma global, menores. Analisando os gráficos é possível identificar que inicialmente (Figura 5.40 - A) os valores são próximos de zero. Quando a chama foi aproximada da biomassa (Figura 5.40 - B), inicialmente apenas houve fumo (Figura 5.40 - C) e só mais tarde foi observada chama (Figura 5.40 - D) que aumentou (Figura 5.42 - E) até ser extinta (Figura 5.40 - F). Após a extinção do fogo, os valores voltam a ser próximos de zero. Os valores para o comprimento de onda de 4200 nm são novamente superiores aos registados no comprimento de onda de 4300 nm.

5.4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Após finalizar a execução dos ensaios descritos, algumas conclusões principais podem ser mencionadas:

- O comprimento de onda mais indicado para funcionamento do sensor é 4200 nm, pois pertence ao intervalo indicado para deteção de CO₂ e pertence à região espectral do infravermelho útil na deteção de incêndios florestais. O comprimento de onda de 4300nm, apesar de ter as mesmas características, não apresenta resultados tão satisfatórios.
- Eventuais falsos alarmes causados por vento e humidade/vapor, não são relevantes numa observação global dos dados continuamente recebidos pelo sensor.
- Em funcionamento na banda do infravermelho médio, é possível detetar incêndios florestais através de espectroscopia de infravermelho, estudando a variação da concentração de CO₂.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

A presente dissertação permitiu estudar diversos aspetos da temática da prevenção e deteção dos incêndios florestais, considerando o contexto nacional e outras abordagens em países que também sofrem, todos os anos, com este flagelo.

No que diz respeito à floresta, é inevitável referir mais uma vez a sua importância na qualidade de vida das sociedades, principalmente pela sua função no sequestro de carbono e libertação do oxigénio essencial à sobrevivência de todos os organismos vivos. O mau uso que a sociedade tem feito dos espaços florestais resultou em múltiplos problemas que conduziram a que os incêndios florestais passassem de uma forma de equilíbrio do ecossistema florestal para um problema, que a sociedade, erradamente, julga poder cessar. No entanto, o fogo não pode, nem deve, ser completamente eliminado dos ecossistemas, sendo necessário que se permita que os regimes de fogo voltem a ser estáveis, deixando dessa forma de ser um problema.

Os incêndios florestais tornaram-se, na realidade, um problema social e a política adotada é, essencialmente, baseada no combate, recaindo uma grande fatia das verbas disponíveis nesse pilar. No entanto, o futuro dos incêndios florestais não passa por combater um problema que está já desenvolvido, mas sim por evitar que o problema surja, pelo que o essencial é, sem dúvida, atuar no que antecede a ignição, ou seja, na sensibilização e vigilância, o primeiro e segundo pilar do PNDFCI.

O processo de sensibilização da sociedade é um processo longo e continuado, devido a diversas resistências institucionais, que deveria seguir planos específicos de acordo com os grupos sociais a que se dirige.

Muitos estudos têm sido feitos no sentido de desenvolver sistemas que permitam a deteção precoce e monitorização de incêndios florestais, pois quanto mais eficiente for a deteção do incêndio, mais rápido será possível colocar meios de combate no terreno e menos área ardida se verificará no final. Apesar disso, em Portugal, dificilmente os sistemas de deteção remota conseguirão substituir a vigilância feita pela RNPV, no entanto, podem complementá-la. O interesse nestes sistemas é tanto maior quanto menor for o seu custo de instalação, pois atualmente, devido às condições socioeconómicas que o país atravessa, os fatores económicos assumem relevância cada vez maior.

O sistema de deteção precoce e monitorização de incêndios florestais estudado baseia-se em espectroscopia de infravermelho para deteção de variações de dióxido de carbono. Os ensaios realizados revelaram que o sistema poderá funcionar numa situação real de incêndio florestal e que a sua suscetibilidade aos falsos alarmes testados é reduzida.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

É importante referir que o estudo apresentado tem uma base essencialmente teórica, com ensaios que não foram realizados em campo. Para que possa efetivamente ser confirmada a viabilidade de implementar um sistema que use espectroscopia de infravermelho para deteção precoce e monitorização de incêndios florestais, seria necessário que o mesmo fosse aplicado a uma situação mais próxima possível do real incêndio florestal, utilizando, por exemplo, fogo controlado, como muitos outros estudos o fazem. Na aplicação real de um sistema de deteção e monitorização de incêndios florestais, é importante definir a localização dos sensores com o objetivo de se obter a melhor configuração possível para que o custo por hectare seja o menor possível. Para tal, torna-se essencial o reconhecimento dos locais, no sentido de o caracterizar relativamente a arborização, acessibilidade e infraestruturas existentes.

No que diz respeito ao sector florestal e à problemática dos incêndios, seria importante modificar alguns pontos de vista, pois apenas se conseguirá diminuir os efeitos nefastos deste flagelo quando todas as entidades envolvidas estiverem de acordo e agirem para o mesmo fim. As diversas limitações da floresta portuguesa relacionadas com questões de ordenamento territorial, por exemplo, podem ser contornadas com alterações nas políticas vigentes.

Uma vez que a sensibilização é um processo demorado e enquanto os sistemas de deteção não existirem com a eficiência máxima necessária, é necessário alterar alguns aspetos no que diz respeito ao combate, pois este pode ser melhorado. Uma redução das ignições não resultará

numa diminuição da área ardida, pelo que é essencial um combate inteligente. Os incêndios não são todos iguais, sendo necessário prever o comportamento do incêndio para definir o modo de atuação. O estudo de variáveis como a direção e velocidade do vento, condições da vegetação local e envolvente e declive do terreno, podem ser utilizadas para constituir modelos que auxiliem o combate e o rescaldo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pereira, João Santos; Correia, Alexandra; Correia, Alexandre; Borges, José G. (2009), “A floresta”, in *Millennium Ecosystem Assessment para Portugal*.
- [2] Associação Empresarial de Portugal, Câmara de Comércio e Indústria (2008), *Sector Florestal*. Leça da Palmeira: Gabinete de estudos.
- [3] Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território (2012), *Estudo de avaliação da implementação da estratégia nacional para as florestas (ENF)*. Instituto de Estudos Sociais e Económicos.
- [4] Leite, Flora Ferreira; Gonçalves, António Bento; Lourenço, Luciano; Úbeda, Xavier (2012), “Problemas metodológicos no estudo dos incêndios florestais em Portugal continental: o caso dos grandes incêndios florestais”, *XIII Coloquio Ibérico de Geografia*, Universidade de Santiago de Compostela.
- [5] Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável (2006) “Reflexão do CNADS sobre os sistemas de proteção e combate aos incêndios rurais”.
- [6] Alkhatib, Ahmad A. A. (2014) “A Review on Forest Fire Detection Techniques”, Hindawi Publishing Corporation - *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- [7] Lourenço, Luciano; Fernandes, Sofia; Bento-Gonçalves, António; Castro, Ana; Nunes, Adélia; Vieira, António (2012), “Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010)”, *Cadernos de Geografia* nº 30/31 – 2011/12. Coimbra, FLUC – pp. 61-80.
- [8] Harlem Brundtland, Gro (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Organização das Nações Unidas.
- [9] Lourenço, Luciano; Serra, Gouveia; Mota, Lucília; Paúl, José J.; Correia, Sérgio; Parola, José; Reis, José (2006), *Manual de Combate a Incêndios Florestais para Equipas de Primeira Intervenção*, Sintra, Escola Nacional de Bombeiros.
- [10] National Ocean Service (2014), “What is LIDAR?”, Disponível em <<http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>>, acedida a 18 de Junho de 2014.
- [11] Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (2013), *6º Inventário Florestal Nacional – Áreas de usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

- [12] Uva, José (2013), *6º Inventário Florestal Nacional – Termos e definições*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- [13] EEA, 2010. *O Ambiente na Europa — Situação e Perspectivas 2010: Síntese*. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- [14] Oliveira, Maria da Graça (2005), “Propagação do Fogo e Dinâmicas Florestais”, Tese de Mestrado em Estatística Aplicada e Modelação. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [15] M. Gradstein, Felix; Ogg, James; Schmitz, Mark; Ogg, Gabi (2012), *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier.
- [16] Bonnier, Jean (2003), *A problemática da floresta mediterrânica (síntese)*, Associação Internacional das Florestas Mediterrânicas, Marselha, Novembro de 2003.
- [17] Paiva, Jorge (s.a.) *A Biodiversidade e a História da Floresta Portuguesa*. Centro de Ecologia Funcional. Universidade de Coimbra.
- [18] Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2006), *Estratégia Nacional para as Florestas*.
- [19] Borges, J. G. (2000), "A atividade dos Florestais". *Naturlink*, disponível em <<http://naturlink.sapo.pt/Investigacao/Artigos/content/A-atividade-dos-Florestais?bl=1>>, acedido a 25 de Março de 2014.
- [20] NP EN 45020: 2001 - Normalização e atividades correlacionadas. Vocabulário geral (Guia ISO/IEC 2:1996). Correspondência: EN 45020:1998 IDT.
- [21] NP 4406 2009, Sistemas de Gestão Florestal Sustentável – Aplicação dos Critérios Pan-Europeus para a gestão florestal sustentável.
- [22] Fernandes, Paulo (2008), *Forest fires in Galicia (Spain): The outcome of unbalanced fire management*. Elsevier, Journal of Forest Economics 14 (2008) 155–157.
- [23] Robak, Edward; Aboal, Jacobo; Picos, Juan (2012). Sustainable Forest Management in Galicia (Spain): Lessons Learned, Sustainable Forest Management - Case Studies, Dr. Julio J. Diez (Ed.), ISBN: 978-953-51-0511-4
- [24] Forest Products Laboratory (2010) *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

- [25] Fernandes, Ana *et al.* (2013) “Floresta em perigo”, disponível em <<http://publico.pt/floresta-em-perigo>>, acedido a 14 de Abril de 2014.
- [26] Borges, J. G.; Uva, J. S. (2006), A prevenção e o combate a incêndios no âmbito do ordenamento e da gestão florestal. *In*: Pereira, J. S. *et al.* (Eds). Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção. ISAPRESS, Lisboa: 313-335.
- [27] Duarte, Jorge (s.d.), “Os fogos florestais em Portugal: o planeamento do espaço na interface urbano-florestal e a segurança das populações”. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- [28] EM-DAT: Emergency Events Database (2009). *The OFDA/CRED International Disaster Database*, disponível em <www.emdat.net>, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- [29] Fernandes, P. M. (2007), *Proteger a Floresta – Incêndios, Pragas e Doenças*, (Volume 8 da coletânea “Árvores e Florestas de Portugal”). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA, & Fundação Luso-americana para o Desenvolvimento.
- [30] Leite, Flora Ferreira; Gonçalves, António Bento; Lourenço, Luciano; Úbeda, Xavier; Vieira, António A. B. (2013), “Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes do Fogo no Mundo Mediterrâneo”, *Silva Lusitana* n.º Especial: 1-9, 2013, UEISSAFSV, INIAV, Oeiras, Portugal.
- [31] Vallejo, Ramon (s.d.), “Incêndios”. Série do Fascículo B – Numero 2, Land Care in Desertification Affected Areas From Science Towards Application.
- [32] Vieira, António A. B.; Gonçalves, António Bento; Lourenço, Luciano; Martins, Carla Oliveira; Leite, Flora Ferreira (2009), *Risco de incêndio florestal em áreas de interface urbano-rural: o exemplo do Ave*. *Territorium* 16. 139-146.
- [33] Catarino, Verónica (2003), “Floresta e incêndios” *in* Revista Técnica e Formativa; Escola Nacional de Bombeiros n.º 26; Ano 7.
- [34] Pita, Luís P. (2005), “Curso sobre comportamento do fogo florestal e segurança das populações”. Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial; Coimbra.
- [35] Autoridade Nacional de Proteção Civil, disponível em <http://www.proteccaocivil.pt/>, acedido a 3 de Junho de 2014.

- [36] Matos, Fátima (2012), “Estudo comparativo do desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal”, Tese de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento de Território. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- [37] Silva, Andreia (2009), “Modelação do dano causado pelos incêndios florestais em Portugal”, Tese de Mestrado em Engenharia Florestal e Recursos Naturais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa.
- [38] Abdalhap, B. (2004), “A Methodology to Enhance the Prediction of Forest Fire Propagation”. Tese de Doutoramento. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [39] Buxo de Carvalho, Josefa; Lopes, José Pedro (2001), *Classificação de incêndios florestais – Manual do utilizador*, Direção-Geral das Florestas, Lisboa.
- [40] Lourenço, L. Luciano (1994), “Risco de incêndio florestal em Portugal Continental”. *Informação Florestal*, 4, p. 22-32.
- [41] Pordata (s.d.), *Incêndios florestais e área ardida – continente*, disponível em <<http://www.pordata.pt/Portugal/Incendios+florestais+e+area+ardida+%20+Continente-1192>>, acedido a 25 de Fevereiro de 2014.
- [42] Viegas, Domingos Xavier; Ribeiro, Luís Mário; Almeida, Miguel Abrantes; Oliveira, Ricardo; Viegas, M. Teresa Pais; Raposo, Jorge R.; Reva, Valéria; Figueiredo, A. Rui; Lopes, Sérgio (2013), “Os Grandes Incêndios Florestais e os Acidentes Mortais Ocorridos em 2013 – Parte 1”. Centro de Estudos Sobre Incêndios Florestais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [43] Rebelo, Fernando (2003); “*Riscos naturais e ação antrópica – estudos e reflexões*”; 2ª edição revista e aumentada; Imprensa da Universidade; Coimbra.
- [44] Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais (APIF) e Instituto Superior de Agronomia (ISA) (2005), *Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios*, Proposta Técnica, Lisboa.
- [45] Cravidão, F. Delgado (1989), “A população da área do incêndio de Arganil (1987) - Análise geográfica”. Grupo de Mecânica dos Fluidos, Coimbra.
- [46] Cravidão, F. Delgado (1990), “Population and forest fires – some relationships”. *Proceedings*. International Conference on Forest Fires Research, Coimbra, p. A11-1.
- [47] Lourenço, L. (1989) - “Erosion of agro-florestal soil in mountains affected by fire in Central Portugal”. *Pirineos. A journal on mountain ecology*

- [48] Do Ó, Afonso; Bugalho, Miguel; Silva, Luís (2009), “Incêndios Florestais e Alterações Climáticas”, WWF Mediterranean Programme, Lisboa.
- [49] Lourenço, Luciano (2004), “Impacte ambiental dos incêndios florestais”, *in*: Manifestações do risco dendrocaustológico. Coletâneas cindínicas IV, Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais – Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- [50] Lourenço, Luciano (2004), “Meio geográfico e fogos florestais. Relação de causa-efeito.”, *in*: Manifestações do risco dendrocaustológico. Coletâneas cindínicas IV, Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais – Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- [51] Frazão, J. (1999). *Fogo na Floresta*, *in* Floresta e Ambiente, Revista de Divulgação Técnica. Ano 11, n.º 45, Abril/Junho 1999.
- [52] Santos, Filipe Duarte; Forbes, Keith; Moita, Ricardo (2001). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*. Gradiva, Lisboa.
- [53] Barros, Cristina (2004), *Fogos florestais em Portugal – Números, causas e impacte ambiental*.
- [54] Moreira, Francisco; Catry, Filipe X.; Sande Silva, Joaquim; Rego, Francisco (2010), *Ecologia do fogo e gestão das áreas ardidas*. ISAPress.
- [55] Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza (2003), “*Prevenir e Minimizar os Incêndios Florestais - Propostas para uma Nova Política Florestal*”. Disponível em <<http://www.quercus.pt/comunicados/2003/outubro/2181-parecer-prevenir-e-minimizar-os-incendios-florestais>>, acedido a 17 de Abril de 2014.
- [56] Saturnino, Hugo; Fernandez, Paulo; Massano, José (2009), *Os sistemas de informação geográfica no planeamento estratégico de infraestruturas de prevenção e supressão de incêndios florestais, caso de estudo: concelho da Sertã*. Autoridade Florestal Nacional.
- [57] Rebelo, Fernando (2010). *Geografia física e riscos naturais*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- [58] Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais (APIF) e Instituto Superior de Agronomia (ISA) (2005), *Caderno 9 – Pré-supressão*, Proposta Técnica, Lisboa.
- [59] Rede Nacional de Postos de Vigia, disponível em <http://scrif.igeo.pt/ASP/postos_f.asp>, acedido a 29 de Abril de 2014.

- [60] Tenente Silva Ferreira, responsável pelo SEPNA do Comando Territorial do Porto, reunião a 14 de Abril de 2014, na GNR.
- [61] Natural Resources Canada, disponível em <<http://www.nrcan.gc.ca/>>, acedido a 30 de Abril de 2014.
- [62] The World Bank, "Forest area (% for land area)", disponível em <<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS>>, acedido a 15 de Maio de 2014.
- [63] Rust, James (2013), "The report of 2013 United States wildfires is "greatly exaggerated"", disponível em <<http://www.cfact.org/2013/11/05/the-report-of-2013-united-states-wildfires-is-greatly-exaggerated-2/>>, acedido a 15 de Maio de 2014.
- [64] Forest and Rangelands (2014), *Regional Strategy Committees*, disponível em <http://www.forestsandrangelands.gov/strategy/Regional_Strategy_Committees/index.shtml>, acedido a 18 de Maio de 2014.
- [65] CalFire, disponível em <<http://www.fire.ca.gov/>>, acedido a 9 de Junho de 2014.
- [66] Lighthall, Kate (2014), *Western Regional Strategy Committee 2013 Year in Review*, disponível em <http://www.forestsandrangelands.gov/strategy/documents/rsc/west/WRSC_2013YearInReview.pdf>, acedido a 14 de Maio de 2014.
- [67] Active Fire Mapping Program – USDA Forest Service, disponível em <<http://activefiremaps.fs.fed.us/>>, acedido a 9 de Junho de 2014.
- [68] Ministerio de Agricultura – Gobierno de Chile, Corporación Nacional Forestal (CONAF), disponível em <<http://www.conaf.cl/>>, acedido a 13 de Maio de 2014.
- [69] Earthzine, "Wildfire Rapid Detection and Mapping and Post-fire Damage Assessment in Greece", disponível em <<http://www.earthzine.org/2013/09/14/wildfire-rapid-detection-and-mapping-and-post-fire-damage-assessment-in-greece/>>, acedido a 13 de Maio de 2014.
- [70] Monitoring Forest Fires, disponível em <http://virtual.vtt.fi/virtual/space/firealert/fire_detection.htm>, acedido a 14 de Maio de 2014.
- [71] Publico (2002), "Sistema de deteção automática de fogos florestais "quase sem falhas", 24/09/2002. Disponível em <<http://publico.pt/sociedade/noticia/sistema-de-deteccao-automatica-de-fogos-florestais-quase-sem-falhas-179803>>, acedido a 9 de Maio de 2014.

- [72] Viegas, Domingos Xavier (s.d.), “Projeto Águia”. Disponível em <<http://nатурlink.sapo.pt/Investigacao/Projectos/content/Projecto-aguia?bl=1>>, acedido a 9 de Maio de 2014.
- [73] Ciclope – INOV, disponível em <http://www.inov.pt/pages/monitorizacao/tele_florestal.php>, acedido a 9 de Maio de 2014.
- [74] Ingenious Solutions, disponível em <<http://www.ngns-is.com/>>, acedido a 13 de Maio de 2014.
- [75] Ciência Hoje (2011), “Sistema inovador permite detetar fogos em tempo real”. Disponível em <<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=50252&op=all>>, acedido a 14 de Maio de 2014.
- [76] Sahin, Y. Guneri; Ince, Turker (2009), “Early Forest Fire Detection Using Radio-Acoustic Sounding System”, *Sensors* 2009, 9, 1485-1498.
- [77] Bosch, I.; Serrano, A.; Vergara, L. (2013), “Multisensor Network System for Wildfire Detection Using Infrared Image Processing”, *The Scientific World Journal* Volume 2013, disponível em <<http://dx.doi.org/10.1155/2013/402196>>
- [78] Merino, Luis; Caballero; Fernando; Martínez-de-Dios, J. R.; Maza, Iván; Ollero, Aníbal (2011), “An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement”, *Journal of Intelligent & Robotic Systems* January 2012, Volume 65, Issue 1-4, pp 533-548.
- [79] FireWatch, “An Early Warning System for Forest Fires”, disponível em <<http://www.fire-watch.de/>>, acedido a 16 de Maio de 2014.
- [80] Paratronic – Eau Environment Risques Naturels, “Automatic fire detection and forest fires”, disponível em <<http://www.paratronic.info/uk/contenus/actualite.php?IDL=6&IDA=33>>, acedido a 16 de Maio de 2014.
- [81] Eng.º Silvino Sousa, Coordenador de Prevenção Estrutural do Distrito do Porto, reunião a 15 de Abril de 2014, na UPTEC TECH.
- [82] Tenente Coronel Carlos Alves, 1º Comandante Operacional Distrital do Porto, reunião a 16 de Maio de 2014, na ANPC do Porto.
- [83] Eng.º Armando Silva e Eng.º Daniel Robalo Simões, 1º e 2º Comandante Operacional Distrital de Viana do Castelo, reunião a 23 de Maio, na ANPC de Viana do Castelo.

- [84] Emanuel Santos, 2º Comandante dos Bombeiros de Ermesinde, reunião a 16 de Junho, na ANPC do Porto.
- [85] Guarda Nacional Republicana, disponível em <www.gnr.pt>, acedido a 13 de Abril de 2014.
- [86] Instituto de Conservação da Natureza, disponível em <www.icnf.pt>, acedido a 14 de Abril de 2014.
- [87] Ministério da Administração Interna (2014), *Diretiva Operacional n.º 2 - Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais*. Autoridade Nacional de Proteção Civil
- [88] AFOCELCA, disponível em <www.afocelca.com>, acedido a 14 de Abril de 2014.
- [89] Deus, Ernesto (2010), “A implementação do conceito *Zona de Intervenção Florestal* em Portugal – o caso do concelho de Mação”, Tese de Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território. Coimbra: Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- [90] Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (2012), “Caracterização das Zonas de Intervenção Florestal – 3º Relatório de Progresso”, Direção de Unidade de Gestão Florestal – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- [91] Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2008), “Constituição da ZIF de Gondomar”, Direção-Geral dos Recursos Florestais – Direção de Serviços de Gestão do Património Florestal.
- [92] Forestis – Associação Florestal de Portugal, disponível em <www.forestis.pt>, acedido a 20 de Fevereiro de 2014.
- [93] Associação Florestal do Grande Porto – Portucalea, Sónia Rodrigues, reunião a 28 de Abril de 2014, na Portucalea (Gondomar).
- [94] Parlamento Europeu (2009), “Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis”, disponível em <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pt:PDF>>
- [95] Brás, Alda; Miranda, Fernando; Hipólito, Luísa; Dias, Luísa Sobral (2011), “Biomassa e produção de energia”, Direção Regional da Agricultura de Entre Douro e Minho, disponível em <<http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/esa/pdf/biomassa.pdf>>.
- [96] Centros Produtores EDP, disponível em <http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/>, acedido a 29 de Abril de 2014.

- [97] Eng.º Artur Borges, Responsável pelo Gabinete Técnico Florestal da Camara Municipal de Felgueiras, reunião a 26 de Maio de 2014, na UPTEC TECH.
- [98] Câmara Municipal de Felgueiras, disponível em <<http://www.cm-felgueiras.pt/>>, acedido a 2 de Junho de 2014.
- [99] Guiomar, Nuno; Palheiro, Pedro; Loureiro, Carlos; Rio Carvalho, Carlos; Salgueiro, António; Tomé, João; Almeida Fernandes, João Paulo (2007), "Manual de boas práticas de gestão dos espaços florestais na bacia drenante da albufeira de castelo do bode". Contributos resultantes do projeto "Nascentes para a vida", Volume V.
- [100] Catry, Filipe; Bugalho, Miguel; Silva, Joaquim (2007), "Recuperação da Floresta Após o Fogo, o caso da Tapada Nacional de Mafra". CEABN-ISA, Lisboa.
- [101] Muhammad Aqeel Ashraf, Mohd; Maah, Jamil; Yusoff, Ismail (2011). Introduction to Remote Sensing of Biomass, Biomass and Remote Sensing of Biomass, Dr. Islam Atazadeh (Ed.), ISBN: 978-953-307-490-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/biomass-and-remote-sensing-of-biomass/introduction-to-remote-sensing-of-biomass>.
- [102] Horst Frank, Jailbird an Phrood, "Electromagnetic spectrum", disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_c.svg>.
- [103] Natural Resources Canada (2014), "Passive vs Active sensing", disponível em <<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14639>>, acedido a 15 de Junho de 2014.
- [104] Saha, Kshudiram (2008), "The Earth's Atmosphere - Its Physics and Dynamics". Springer.
- [105] Tropospheric Emission Spectrometer, disponível em <<http://tes.jpl.nasa.gov/>>, acedido a 15 de Julho de 2014.
- [106] Davis, Gary (s.d.), "History of the NOAA Satellite Program", *NOAA Satellite and Information Service* 1335 East-West Highway, Silver Spring, Maryland, 20910, USA.
- [107] NOAA - Office of satellite and product operations, disponível em <<http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/hms.html>>, acedido a 15 de Julho de 2014.
- [108] Stuart, Barbara (2004), *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, Wiley.
- [109] Lima, Kássio M. G.; Raimundo Jr.; Ivo M.; S. Silva, Andréa Monteiro; Pimentel, Maria Fernanda. (2009), "Sensores óticos com deteção no infravermelho próximo e médio", *Quím. Nova* vol. 32, n.º 6, São Paulo.

[110] Philip, Susan (2007), "Active fire detection using remote sensing based polar-orbiting and geostationary observations: an approach towards near real-time fire monitoring", Master in Geo-Information Science and Earth Observation for Environmental Modelling and Management. Enschede, The Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

[111] Kerle, N., Janssen, L.L.F., & Huurnemann, G.C., (2004), *Principles of remote sensing* 3rd edition, ITC Enschede, The Netherlands

[112] Mulrooney, Jim; Clifford, John; Fitzpatrick, Colin; Lewis, Elfed (2007), "Detection of carbon dioxide emissions from a diesel engine using a mid-infrared optical fibre based sensor", *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 136, Issue 1, 1 May 2007, Pages 104–110.

[113] A. Berry, Joseph (1982), *Photosynthesis V2: Development, Carbon Metabolism, and Plant Productivity*. New York, Govindjee.

[114] Whitmarsh, John (s.d.), "The photosynthetic process", *Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis*, Edited by GS Singhal, G Renger, SK Sopory, K-D Irrgang and Govindjee, Narosa Publishers/New Delhi; and Kluwer Academic/Dordrecht, pp. 11-51.

ANEXOS

Anexo A – Glossário	C
Anexo B – Legislação	E

ANEXO A – GLOSSÁRIO

Caducifólios	Plantas que perdem as folhas em determinadas épocas.
Combustível	Substância suscetível de arder.
Coníferas	Plantas gimnospermicas da divisão Coniferophyta (ou Pinophyta), presentes nas regiões tropicais e temperadas do planeta.
Floresta	Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, onde se verifica a presença de árvores florestais que tenham atingido, ou com capacidade para atingir, uma altura superior a 5 metros e grau de coberto maior ou igual a 10%.
Fogo	Combustão caracterizada por uma emissão de calor acompanhada de fumo, chama ou ambos.
Ignição	Início da combustão.
Incêndio florestal	Incêndio com início ou que atingiu uma área florestal.
Matos	Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, onde se verifica a ocorrência de vegetação espontânea composta por mato (por ex.: urzes, silvas, giestas, tojos) ou por formações arbustivas (ex.: carrascais ou medronhais espontâneos) com grau coberto igual ou superior a 25% e altura igual ou superior a 50 cm.
Ocorrência	Relativo a todo e qualquer tipo de evento que mobilize meios de socorro.
Pastagens	Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, ocupado com vegetação predominantemente herbácea, semeada ou espontânea, utilizável para pastoreio <i>in-situ</i> , e que acessoriamente pode também ser cortada em determinados períodos do ano.
Povoamento florestal	Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros onde se verifica a presença de árvores florestais que tenham atingido, ou com capacidade para atingir, uma altura superior a 5 metros e grau de coberto maior ou igual a 10%.

ANEXO B – HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO FLORESTAL PORTUGUESA

Ano	Legislação florestal	Observação
1937	Decreto-Lei n.º 28039/1937, de 14 de Setembro	Define distâncias de plantação.
1975	Decreto-Lei n.º 357/75, de 08 de Julho	Aprova medidas de proteção ao relevo natural, ao solo arável e ao revestimento vegetal.
1988	Decreto-Lei n.º 139/88, de 22 de Abril	Define o regime da rearborização para áreas afetadas por incêndios florestais.
1988	Decreto-Lei n.º 173/88, de 16 de Maio	Proíbe o corte prematuro de povoamentos florestais.
1988	Decreto-Lei n.º 175/1988, de 17 de Maio	A Direcção-Geral dos Recursos Florestais aprova (re)florestações com espécies de crescimento rápido.
1988	Decreto-Lei n.º 174/88, de 17 de Maio	Torna obrigatório manifestar intenções corte ou arranque de árvores (corte final, desbaste, corte extraordinário ou arranque de árvores florestais que se destinem a venda ou autoconsumo para transformação industrial).
1989	Decreto-Lei n.º 139/1989, de 28 de Abril	Altera o Decreto-Lei n.º 357/75 de 8 de Julho; Define que as ações de destruição do revestimento vegetal que não tenham fins agrícolas, carecem de licença das Câmaras Municipais.
1989	Decreto-Lei n.º 180/89, de 30 de Maio	Estabelece regras para o ordenamento de zonas afetadas por incêndios florestais em áreas protegidas.
1989	Portaria n.º 513/89, de 06 de Julho	Listagem dos concelhos em que a ocupação do solo com espécies de crescimento rápido é superior a 25% da área total do concelho.
1989	Portaria n.º 528/89, de 11 de Julho	Define normas de (re)arborização com espécies de crescimento rápido.
1990	Decreto-Lei n.º 327/90, de 22 de Outubro	Regula a ocupação do solo objeto de um incêndio florestal.
1993	Decreto-Lei n.º 19/93, de 23 de Janeiro	(Re)florestação de áreas inseridas na Rede Nacional de Áreas Protegidas.
1996	Lei n.º 33/96, de 17 de Agosto	Lei de Bases da Política Florestal.

1999	Decreto-Lei n.º 34/99, de 05 de Fevereiro	Altera o uso do solo nos terrenos percorridos por incêndios florestais
1999	Decreto-Lei n.º 179/99, de 21 de Maio	Cria equipas de sapadores florestais e regulamenta a sua atividade.
1999	Decreto-Lei n.º 204/99, de 09 de Junho	Planos Regionais de Ordenamento Florestal.
1999	Decreto-Lei n.º 205/99, de 09 de Junho	Planos de Gestão Florestal.
1999	Decreto-Lei n.º 565/99, de 21 de Dezembro	Regula a introdução na natureza de espécies não indígenas da flora e da fauna.
2004	Decreto-Lei n.º 94/2004, de 22 de Abril	Altera o Decreto-Lei n.º 179/99, de 21 de Maio.
2004	Lei n.º 14/2004, de 08 de Maio	Cria as Comissões Municipais de Defesa da Floresta contra Incêndios.
2004	Decreto-Lei n.º 155/2004, de 30 de Junho	Altera o Decreto-Lei n.º 169/2001, de 25 de Maio; Declara a proteção ao sobreiro e à azinheira; Regula as conversões de uso, o corte e o arranque de árvores, a poda e outras intervenções nos montados de sobreiro e azinho e em arvoredos isolados; Nova definição de povoamento de sobreiro e azinheira e de núcleos.
2004	Portaria n.º 1056/2004, de 19 de Agosto	Zonas críticas.
2004	Portaria n.º 1060/2004, de 21 de Agosto	Zonamento da probabilidade de ocorrência de incêndio florestal.
2004	Portaria n.º 1061/2004, de 21 de Agosto	Regulamenta a prática de fogo controlado.
2005	Decreto-Lei n.º 127/2005, de 05 de Agosto	Zonas de Intervenção Florestal (ZIF).
2006	Resolução do Conselho de Ministros n.º 5/2006, de 18 de Janeiro	Orientações para a recuperação das áreas ardidas em 2003, 2004 e 2005.
2006	Decreto-Lei n.º 22/2006, de 02 de Fevereiro	Consolida institucionalmente o Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente (SEPNA) e cria o Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro (GIPS).
2006	Portaria n.º 103/2006, de 06 de Fevereiro	Nemátodo da madeira do pinheiro, <i>Bursaphelenchus xylophilus</i> (Steiner et Buhrer) Nickle et al.;
2006	Decreto-Lei n.º 38/2006, de 20 de Fevereiro	Constituição, reconhecimento e funcionamento das equipas de sapadores florestais.

2006	Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de Maio	Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios.
2006	Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho	Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios.
2006	Lei n.º 27/2006, de 03 de Julho	Lei de Bases da Proteção Civil.
2006	Decreto-Lei n.º 134/2006, de 25 de Julho	Cria o Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro (SIOPS).
2006	Portaria n.º 798/2006, de 11 de Agosto	Define os termos em que se processa a coordenação da atividade dos serviços dependentes dos Ministérios da Administração Interna, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas no âmbito da DFCI.
2006	Portaria n.º 815/2006, de 16 de Agosto	Altera a Portaria n.º 103/2006, de 6 de Fevereiro; Estabelece medidas extraordinárias de proteção fitossanitária indispensáveis para o combate ao nemátodo da madeira do pinheiro.
2006	Portaria n.º 1139/2006, de 25 de Outubro	Define a estrutura tipo do conteúdo dos Planos Municipais de Defesa da Floresta contra Incêndios.
2007	Decreto-Lei n.º 55/2007, de 12 de Março	Estabelece a terceira alteração ao DL n.º 327/90, de 22 de Outubro, alterado por ratificação, pela Lei n.º 54/91, de 8 de Agosto; Define as medidas de proteção aos povoamentos florestais afetados por incêndios.
2007	Portaria n.º 321/2007, de 23 de março	Altera os artigos 2.º e 6.º e o anexo I da Portaria n.º 103/2006, de 6 de Fevereiro, que estabelece medidas extraordinárias de proteção fitossanitária indispensáveis para o combate ao nemátodo da madeira do pinheiro, na redação dada pela Portaria n.º 815/2006, de 16 de Agosto.
2007	Despacho n.º 17390/2007, de 07 de Agosto	Estabelece os prazos do Programa Nacional de Luta contra o Nemátodo da Madeira do Pinheiro (PROLUNP)
2007	Lei n.º 65/2007, de 12 de Novembro	Define o enquadramento institucional e operacional da proteção civil no âmbito municipal, determinando ainda as competências do comandante operacional municipal.
2008	Portaria n.º 305-A/2008, de 21 de Abril	Altera a Portaria n.º 103/2006, de 6 de Fevereiro.

2008	Portaria n.º 358/2008, de 12 de Maio	Estabelece as medidas a aplicar a plantas e madeira em bruto de coníferas hospedeiras do nemátodo da madeira do pinheiro (NMP), originários do território de Portugal continental, destinados a transmissões intracomunitárias ou à exportação para países terceiros.
2008	Despacho n.º 15752/2008, de 06 de Junho	Presença do nemátodo da madeira do pinheiro
2008	Portaria n.º 553-B/2008, de 27 de Junho	Confirmada a presença de algumas pragas e doenças em alguns concelhos exteriores às zonas de restrição pré-definidas.
2009	Decreto-Lei n.º 15/2009, de 14 de Janeiro	Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 127/2005, de 5 de Agosto, que regulamenta ações relacionadas com as ZIF.
2009	Decreto-Lei n.º 16/2009, de 14 de Janeiro	Aprova o regime jurídico dos planos de ordenamento, de gestão e de intervenção de âmbito florestal e revoga os Decretos-Leis n.º 204/99 e 205/99, ambos de 9 de Junho.
2009	Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro	Estabelece a segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho e revoga a Lei n.º 14/2004, de 8 de Maio.
2009	Declaração de Retificação n.º 20/2009, de 13 de Março	Retifica o Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro, do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, que procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho e revoga a Lei n.º 14/2004, de 8 de Maio.
2009	Lei n.º 20/2009, de 12 de Maio	Estabelece a transferência de atribuições para os municípios do continente em matéria de constituição e funcionamento dos gabinetes técnicos florestais, bem como outras no domínio da prevenção e da defesa da floresta.
2009	Decreto-Lei n.º 109/2009, de 15 de Maio	Estabelece o regime jurídico aplicável à criação e funcionamento das equipas de sapadores florestais no território continental português e regulamenta os apoios à sua atividade.
2009	Despacho n.º 14031/2009, de 22 de Junho	Aprova o Regulamento do Fogo Técnico
2009	Despacho n.º 15183/2009, de 06 de Julho	Estabelece as Normas Técnicas para os Planos de Gestão Florestal.
2011	Decreto-Lei n.º 5/2011, de 10 de Janeiro	Estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa florestal.
2012	Decreto-Lei n.º 179/2012, de 03 de Agosto	Altera o Decreto-Lei n.º 5/2011, de 10 de janeiro.